

Metodyka kontroli poprawności pracy odwadniaczy z analizą wyników pod kątem ekonomicznej pracy systemu pary i kondensatu

Krzysztof Szalucki

1. Wstęp

Każdy pracujący na instalacji pary i kondensatu odwadniacz w naturalny sposób narażony jest na zużycie lub uszkodzenie. Wcześniej, czy później zepsuje się! Taka awaria nie zawsze spowoduje natychmiastowy efekt w postaci zauważalnej nieprawidłowości pracy instalacji, a często pozostaje niezauważona przez lata eksploatacji będąc przyczyną narastających strat ciepła na skutek przebiecia pary przez odwadniacz. Z tego też powodu jednym z podstawowych działań zapewniających poprawną pracę instalacji pary i kondensatu jest systemowa kontrola odwadniaczy pod względem poprawności ich działania.

2. Metody kontroli pracy odwadniaczy

Owadniacz na instalacji pary i kondensatu może:

- poprawnie odprowadzać kondensat nie dopuszczając do przebiecia pary,
- pracować wadliwie powodując spiętrzenie kondensatu (są jednak takie zastosowania, w których oczekujemy spiętrzenia kondensatu!),
- pracować wadliwie powodując przebiecie pary do instalacji kondensatu.

Zastosowana metoda kontroli pracy odwadniaczy powinna zapewnić możliwość detekcji i określania przypadku wystąpienia każdego z podanych powyżej trzech stanów ruchowych.

Stosowane są trzy metody kontroli pracy odwadniaczy spełniające powyższe kryterium: wzrokowa z wykorzystaniem wziernika, oparta o detekcję przewodności czynnika połączoną z pomiarem temperatury oraz ultradźwiękowa również połączona z pomiarem temperatury. Pozostałe metody: wzrokowa oparta o obserwację wylotu kondensatu z odwadniacza oraz oparta tylko o pomiar temperatur w obrębie odwadniacza są niedoskonałe i niezalecane.

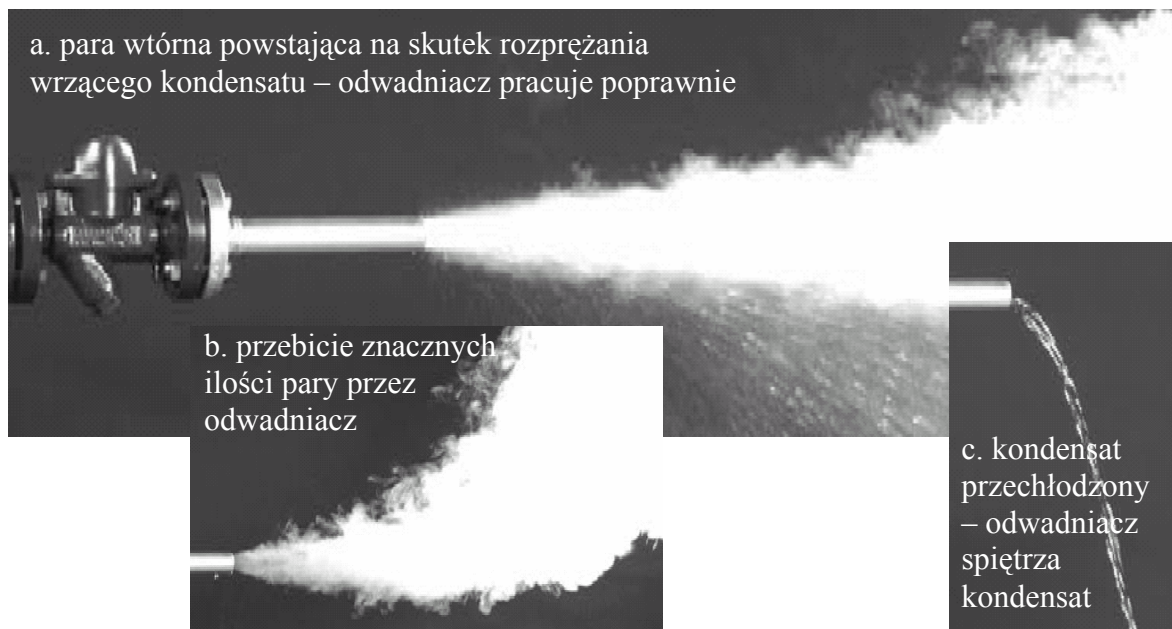
2.1 Metoda wzrokowa

2.1.1 Oparta o obserwację wylotu kondensatu z odwadniacza

Jest to metoda kontroli wysoce zawodna, ponieważ obserwując wylot z pracującego odwadniacza - również przy poprawnej jego pracy - widzimy duże ilości powstającej pary wtórnej z rozprężania wrzącego kondensatu - rysunek 1a. Kiedy dochodzi do niewielkiego przebiecia pary przez odwadniacz odprowadzający kondensat, widok obłoku pary praktycznie nie zmienia się, podczas gdy zaczynamy już tracić istotne ilości pary. Dopiero w momencie, gdy przebiecie pary przez odwadniacz wzrasta, a szczególnie przy braku napływu kondensatu mamy do czynienia ze zmianą właściwości pary na wylocie z odwadniacza - rysunek 1b. W takim przypadku izentalpowa redukcja ciśnienia pary przepływającej przez dyszę odwadniacza spowoduje powstanie za odwadniaczem pary przegrzanej, której postać i sposób „zachowania się” będzie odbiegał od tego, co normalnie obserwujemy dla pary nasyconej. Należy jednak pamiętać, że już niewielka ilość kondensatu przed odwadniaczem, mimo przebiecia pary, spowoduje, że za nim uzyskamy warunki nasycenia i nie będziemy w stanie tego przebiecia rozpoznać. W oparciu o obserwację wylotu z odwadniacza możemy z dużą dokładnością stwierdzić jedynie przypadek ruchowy, kiedy kondensat przed odwadniaczem jest spiętrzony i schłodzony do temperatury poniżej 100°C. Wówczas na wylocie z odwadniacza nie zaobserwujemy pary z rozprężania - rysunek 1c.

Analiza poprawności pracy na podstawie obserwacji wylotu odwadniacza jest wysoce nieskuteczna i nie powinna być stosowana, gdyż bardzo często prowadzi do mylnych interpretacji i wniosków.

Jedynym odwadniaczem, który można w sposób dość skuteczny ocenić na bazie takich obserwacji jest odwadniacz termodynamiczny, ale w tym przypadku nie obserwujemy tego, co z odwadniacza jest odprowadzane, a liczymy ilość cykli otwarcie/zamknięcie płytki sterującej w czasie minuty, ze wzrostem zużycia się powierzchni uszczelniających rośnie częstotliwość skoków płytki. Przyjmuje się, że jeżeli przy niewielkim napływie kondensatu ilość cykli na minutę przewyższa 7-10, to należy odwadniacz termodynamiczny wymienić na nowy. Dla innych typów odwadniaczy metoda ta jest nieskuteczna.



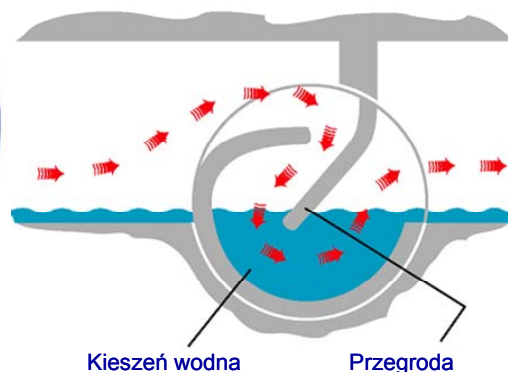
Rys.1 Typowe stany ruchowe odwadniacza pracującego poprawnie i wadliwie

2.1.2 Oparta o obserwację widoku w szkłe wziernikowym

Wzierniki (przezierniki) to urządzenia znane i wykorzystywane do kontroli pracy odwadniaczy już od dawna – rysunek 2.



Rys.2 Wziernik z 1935.



Rys.3 Wziernik GESTRA i zasada przepływu kondensatu

Rysunek 3 pokazuje zasadę przepływu kondensatu (lub pary przy przebiciu) przez wziernik. Błędne zainstalowanie wziernika za odwadniaczem nie umożliwi poprawnej oceny pracy tego odwadniacza. Obserwowane mogą być zjawiska wynikające z procesu otwierania i zamykania odwadniacza, ale nie ma możliwości oceny występowania przebicia pary (jak w 2.1.1).

Dla poprawnej oceny pracy odwadniacza wziernik powinien być zainstalowany bezpośrednio przed kontrolowanym odwadniaczem.

Obserwując obraz widoczny w szkle wziernika zainstalowanego przed odwadniaczem i porównując go do pokazanych na rysunku 4, trzech podstawowych obrazów wzorcowych, można bez trudu określić charakter pracy kontrolowanego odwadniacza. Metoda prosta i skuteczna.

Normalna praca



Końcówka przegrody jest zanurzona w wodzie.

Prawidłowe odwadnianie instalacji.

Przebiecie pary



Przeływająca para obniża lustro wody poniżej przegrody.

Silne zmieszanie pary i kondensatu prowadzi do tworzenia się pęcherzy i zawirowań.

Przyczyna: przebiecie pary – niesprawny odwadniacz.

Spiętrzenie kondensatu



Wziernik wypełniony wodą

Przy zabudowie wziernika bezpośrednio za wymiennikiem trzeba się liczyć ze spiętrzeniem kondensatu do wysokości jak we wzierniku.

Możliwe przyczyny: rozruch, odwadniacz uszkodzony lub brudny, odwadniacz zbyt mały, zmienione warunki pracy

Rys.4 Analiza pracy odwadniacza w oparciu o obserwacje typowych obrazów w szkle.

Niestety oprócz niewątpliwych zalet metoda ta posiada również kilka wad. Wziernik zainstalowany przed odwadniaczem pracuje przy dużo wyższych ciśnieniach niż te panujące za odwadniaczem, w związku z tym muszą być zapewnione dużo wyższe wymagania pod względem bezpieczeństwa jego pracy dla personelu obsługi. Wysoka wytrzymałość korpusu i szkła wziernikowych jest przyczyną stosunkowo wysokiej ceny tego urządzenia, która jest zbliżona, a czasami wyższa od ceny kontrolowanego odwadniacza. Oznacza to, że chcąc zainstalować wziernik przed każdym odwadniaczem, musimy liczyć się z co najmniej podwojonym nakładem inwestycyjnym na odwodnienia. Niestety na zwiększonym nakładzie inwestycyjnym koszty dodatkowe się nie kończą. Szczególnie przy kondensatach zanieczyszczonych bardzo szybko dochodzi do zabrudzenia szkła wziernikowych w stopniu uniemożliwiającym wiarygodną kontrolę. W takim przypadku konieczne jest czyszczenie szkła lub ich wymiana (ewentualnie wymiana wewnętrznej folii wykonanej z miki). Zdarzają się również (np. w przypadku uderzeń wodnych) pęknięcia szkła lub przypadki wyłukania szkła. Ograniczenie temperaturowe zastosowania wzierników również należy brać pod uwagę.

W związku z powyższym wzierniki stosuje się stosunkowo rzadko, najczęściej w przypadku urządzeń i odwadniaczy, których poprawna praca powinna być często monitorowana ze względu na wymagania procesu technologicznego. Coraz częściej obserwuje się wypieranie kontroli za pomocą wzierników przez systemy oparte na detekcji przewodności przepływającego czynnika w połączeniu z pomiarem temperatury lub ultradźwiękowe.

2.2 Detekcja przewodności czynnika w połączeniu z pomiarem temperatury

System detekcji przewodności przepływającego czynnika w połączeniu z pomiarem temperatury zapewnia wykrywanie poprawnego oraz wszystkich wadliwych stanów pracy kontrolowanego odwadniacza – rysunek 5. Powinien on być zainstalowany przed dyszą odwadniacza, tak aby nie było niekorzystnego wpływu pary z rozprężania na jakość pomiaru. W systemie tym wykorzystywana jest przewodnościowa elektroda pomiaru poziomego, która odpowiada za wykrywanie przebiecia pary (pomiar oparty na różnicy przewodności między kondensatem i parą – w przeciwieństwie do kondensatu przewodność pary jest bliska zeru), zespolona z czujnikiem temperatury odpowiedzialnym za wykrywanie przechłodzenia kondensatu na skutek nadmiernego jego spiętrzenia przez odwadniacz. Zespół elektroda-czujnik temperatury może być montowany bezpośrednio w gniazdo osadnika zanieczyszczeń odwadniacza (rysunek 5) lub też do specjalnego naczynia pomiarowego instalowanego przed odwadniaczem.



Rys. 5 Sposób pracy systemu detekcji przewodności przepływającego czynnika w połączeniu z pomiarem temperatury.

Należy zwrócić uwagę, że możliwe jest zastosowanie każdej metody (detekcja przewodności i pomiar temperatury) oddzielnie, ale efekty będą niezadowalające. W przypadku ograniczenia tylko do detekcji przewodności możliwe jest jedynie stwierdzenie przebicia pary przez odwadniacz, niemożliwe jest określenie, czy następuje spiętrzenie kondensatu, czy też odwadniacz pracuje poprawnie. Często stosowany przez użytkowników instalacji parowych pomiar temperatury (np. z pomocą pirometru) jest wysoce nieskuteczny przy wykrywaniu przebicia pary przez odwadniacz, należy pamiętać, że para nasycona i kondensat wrzący przed odwadniaczem mają tę samą temperaturę. Z kolei, aby za odwadniaczem przy przebicciu pary nastąpił wykrywany przyrost temperatury, to przez odwadniacz musi przebijać się bardzo duża ilość pary przy całkowitym braku przepływu kondensatu.

2.3 Metoda ultradźwiękowa

W celu przeprowadzenia okresowej kontroli pracy odwadniaczy na instalacji parowej zaleca się wykorzystanie urządzeń badających emisję ultradźwięków powstających podczas przepływu czynnika przez dyszę odwadniacza.

Monitoring taki jest bezingerencyjny, czyli nie wymaga demontażu odwadniacza z rurociągu lub wbudowywania w instalację specjalnych systemów pomiarowych – rysunek 6. Urządzenie testujące składa się z dotykowego czujnika przetwarzającego drgania mechaniczne ultradźwiękowe z zakresu 40-60kHz w sygnały elektryczne, następnie wzmacniane i wskazywane przez analizator pomiarowy. Podczas oceny wyników pomiarów należy pamiętać, że natężenie dźwięku zależne jest nie tylko od ilości pary przebijającej się przez odwadniacz. Istotne znaczenie ma również: ilość przepływającego kondensatu, spadek ciśnienia na odwadniaczu, typ odwadniacza (czyli źródło dźwięku), a także zakłócenia zewnętrzne (np. silniki, nieszczelne zawory, stacje redukcji ciśnienia pary itp.). Metodą tą zaleca się badać odwadniacze, przez które nie przepływa więcej niż 50-100 kg/h kondensatu przy ciśnieniu różnicowym poniżej 20 bar. W takich warunkach możliwe jest szacowanie przebicia pary na poziomie od 1-4 kg/h zależnie od doświadczenia obsługującego lub systemu analizy mikroprocesorowej. Jeżeli odwadniacz pracuje w warunkach odbiegających od rekomendowanych wyżej, zalecane jest na czas kontroli chwilowe wymuszenie takich parametrów roboczych (np. zmniejszenie ilości powstającego kondensatu przez chwilowe zdjęcie obciążenia od strony ogrzewanej).

Urządzenia testujące zależnie od stopnia ich zaawansowania technologicznego (rysunek 6) realizują:

1. tylko wskazanie poziomu ultradźwięków, co wymaga analizy i decyzji o poprawności pracy odwadniacza ze strony doświadczonego pracownika przeprowadzającego test (np. GESTRA VKP10),
2. wskazanie poziomu ultradźwięków i pełną analizę poprawności pracy odwadniacza na podstawie pomiaru oraz informacji z wbudowanej do urządzenia testującego bazy danych o charakterystycznych cechach ruchowych dla podstawowych typów odwadniaczy, a także zapewnienie możliwości gromadzenia danych o testowanych odwadniaczach w pamięci urządzenia lub podłączanego komputera (np. GESTRA VKP40).



Rys.6 Urządzenia do ultradźwiękowej kontroli odwadniaczy i sposób ich wykorzystania

3. Ciągła kontrola odwadniaczy w newralgicznych punktach instalacji pary i kondensatu

Jeżeli poprawność pracy odwadniacza ma bezpośredni wpływ na dyspozycyjność instalacji lub też na jakość końcową produktu, to okresowa kontrola wzrokowa lub systematyczne badania okresowe odwadniaczy mogą okazać się niewystarczające. W takim przypadku konieczne jest zastosowanie godnych zaufania systemów monitoringu ciągłego, takich jak GESTRA NRS 1-3, które natychmiastowo alarmują o pojawiających się nieprawidłowościach w pracy odwadniaczy.

W skład systemu zdalnego nadzoru odwadniaczy oprócz jednostki kontrolno/alarmowej NRA1-3 (może kontrolować do 16 odwadniaczy równocześnie), wchodzi również czujniki NRG16-28 montowane bezpośrednio w gniazda osadników odwadniaczy lub czujniki NRG16-27 montowane w dodatkowe komory testujące zainstalowane przed odwadniaczami. Dzięki systemowi zdalnego nadzoru odwadniaczy NRA1-3, GESTRA oferuje możliwość ciągłego nadzoru nad pracą odwadniaczy zainstalowanych w newralgicznych punktach instalacji parowej. System ten nadzoruje odwadniacze pod kątem dwóch podstawowych nieprawidłowości w działaniu, tj.:

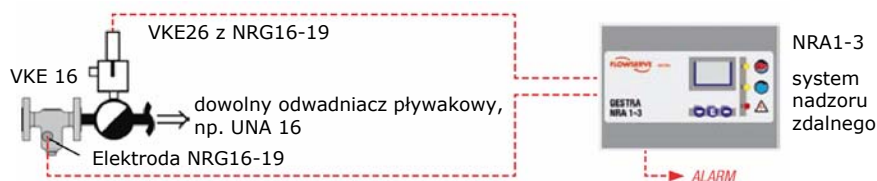
1. przebicia pary przez odwadniacz, które powoduje powstanie nieuzasadnionych kosztów związanych ze stratą czynnika grzewczego, a także problemy ruchowe (uderzenia wodne) i erozję w rurociągach kondensatu,

2. spiętrzenia kondensatu przed odwadniaczem, które może być przyczyną zakłóceń w procesie produkcyjnym prowadzących nawet do powstania wad w produktach końcowych.

Dla uniknięcia fałszywych alarmów podczas rozruchu instalacji w systemie wykorzystano układ analizy temperatury w monitorowanej instalacji parowej.

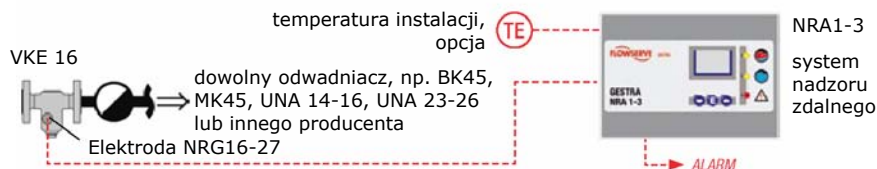
Przykład konfiguracji 1

Przewodnościowe monitorowanie na przebicie pary i spiętrzenie kondensatu



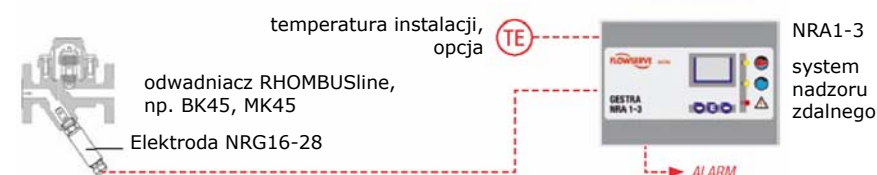
Przykład konfiguracji 2

Uniwersalne monitorowanie na przebicie pary i spiętrzenie kondensatu



Przykład konfiguracji 3

RHOMBUSline – zintegrowane monitorowanie na przebicie pary i spiętrzenie kondensatu



Rys.7 Ciągła kontrola odwadniaczy w newralgicznych punktach instalacji

Możliwe jest uzyskanie sygnału alarmu o niesprawnym lub niesprawnych odwadniaczach i wprowadzenie tego sygnału do nadrzędnego systemu monitoringu. Ostateczne sprawdzenie, który z monitorowanych odwadniaczy jest niesprawny i jakie są nieprawidłowości w jego pracy, możliwe jest poprzez odczyt danych na panelu operatora NRA 1-3.

Procesy technologiczne, w których przy nieprawidłowej pracy odwadniaczy dochodzi do nieodwracalnego w skutkach uszkodzenia produktu końcowego, co często wiąże się z ogromnymi kosztami utraty produktu oraz przestoju linii technologicznej, powinny być chronione przy wykorzystaniu systemu ciągłego monitoringu pracy odwadniaczy.

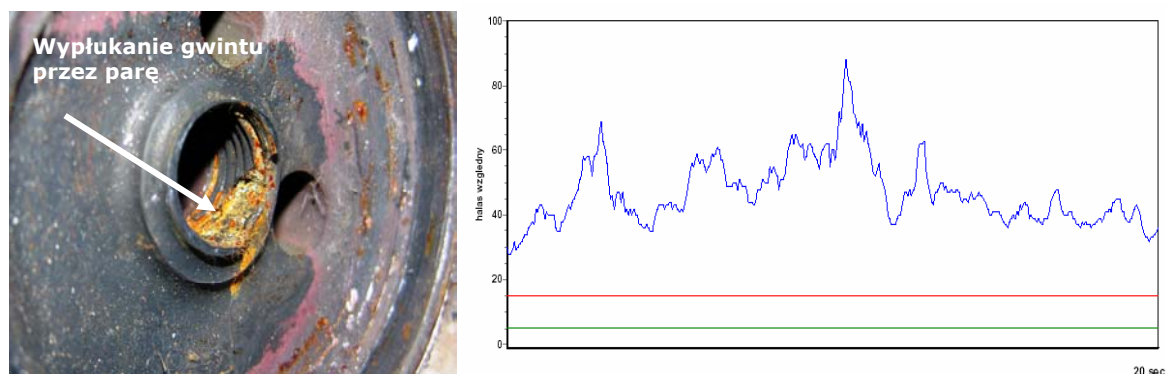
4. Okresowa kontrola wszystkich odwadniaczy za pomocą TRAPTEST VKP 40 - urządzenia do ultradźwiękowej kontroli pracy odwadniaczy

Okresowa kontrola wszystkich odwadniaczy pracujących na instalacji pary i kondensatu za pomocą urządzeń do pomiaru ultradźwiękowego jest jednym z najważniejszych przedsięwzięć kontrolnych, pod względem energooszczędnej gospodarki nośnikami ciepła. Prowadząc taką kompleksową kontrolę jesteśmy w stanie wykryć wszystkie wadliwie pracujące odwadniacze, ale również jakby przy okazji, doświadczony testujący jest w stanie wykryć nieprawidłowości w montażu i pracy innych urządzeń na badanej instalacji.

W większych zakładach kontrola taka, może być prowadzona przez przeszkolonego pracownika technicznego. Wymaga to jednak jednorazowego zainwestowania w drogi sprzęt pomiarowy i przeszkolenie testującego, a także wiąże się z koniecznością stworzenia odpowiednich procedur okresowego testu, analizy jego wyników i podejmowanych działań naprawczych. Często w takich zakładach obserwuje się, że zakupiony sprzęt służy jedynie do jednorazowych kontroli poszczególnych odwadniaczy w przypadku podejrzenia o ich nieprawidłową pracę. Jest to niewystarczające! Mimo takich wyrywkowych kontroli należy wdrożyć również procedurę kompleksowej kontroli wszystkich odwadniaczy.

Użytkownicy odwadniaczy, którzy nie chcą lub nie mogą przystosować własnych służb technicznych dla okresowego monitorowania pracy zainstalowanych odwadniaczy mogą zlecić takie badania firmom zewnętrznym, specjalizującym się w prowadzeniu takich prac na zlecenie. W takim przypadku warto sprawdzić:

1. jakim sprzętem dysponuje firma, której zlecamy takie badania: czy jest to sprzęt zapewniający automatyczną analizę i zapamiętanie wyników badań w celu późniejszego porównania testów poszczególnych odwadniaczy na przestrzeni lat ich eksploatacji, czy też prosty sprzęt wymagający ręcznego opisywania i zapisywania uzyskiwanych wyników w oparciu o własną interpretację testującego (wymaga szczególnie dużej wiedzy i doświadczenia testującego),
2. wiedzę i doświadczenia osób przeprowadzających testy (warto sprawdzić referencje),
3. sposób opracowania wyników, które zostaną przekazane po kontroli odwadniaczy.



Rys.8 Efekt przebiccia pary po gwincie regulatora odwadniacza termostatycznego i charakterystyczny przebieg ultradźwięków wskazujący na przebicie pary (VKP-40).

W oparciu o własne wieloletnie doświadczenia w ultradźwiękowej kontroli odwadniaczy pragnę zaznaczyć, że nawet stosowanie najnowocześniejszych urządzeń (dysponujących wbudowanymi wzorcami kontroli dla różnych typów odwadniaczy i mikroprocesorową analizą otrzymywanych sygnałów ultradźwiękowych) przez osoby, które nie posiadają wiedzy na temat odwadniaczy, instalacji pary i kondensatu oraz doświadczenia w przeprowadzaniu takich badań, może być przyczyną wielu poważnych pomyłek, które prowadzą do niepotrzebnej wymiany sprawnych odwadniaczy lub pozostawienie na instalacji odwadniaczy niesprawnych. Za pomocą urządzenia do ultradźwiękowej kontroli odwadniaczy bez trudu można wykryć przebicie pary przez uszkodzony gwint regulatora odwadniacza termostatycznego – rysunek 8, ale... podobny charakter ultradźwięków otrzyma się jeżeli na instalację pary i kondensatu będą przenoszone drgania np. silnika mieszkadła lub też na nitce parowej będzie „głośno” pracował zawór redukcyjny. Zadaniem doświadczonej osoby przeprowadzającej test jest wykrycie, lokalizacja i eliminacja takich zakłóceń, przynajmniej na czas pomiaru.

4.1 Przygotowanie do testów

Właściwe przygotowanie do testów to połowa sukcesu! Prace przygotowawcze niestety w większym stopniu muszą być przeprowadzone przez użytkownika instalacji, czasami możliwe jest to we współpracy z testującym. Polegają one na inwentaryzacji i oznaczeniu wszystkich odwadniaczy pracujących na poszczególnych częściach instalacji pary i kondensatu. W inwentaryzacji mogą bardzo pomóc arkusze zestawieniowe – rysunek 9 – opracowane przez firmy prowadzące badania odwadniaczy na zlecenie. Konieczne jest takie opisanie każdego odwadniacza, aby był on jednoznacznie określony, co do miejsca instalacji, typu, średnicy, zastosowania itp.

Przykład opisu: Firma - **OSM**, Instalacja - **Sery Topione**, Sekcja - **Hala A**, Oznakowanie odwadniacza - **Topiałka 1 lewy**, Zastosowanie - **D**, Oznaczenie typu - **MK45-2**, Typ - **Membranowy**, Producent - **GESTRA**, ciśnienie przed **6 bar**, ciśnienie za **0 bar**, DN**25**, PN**40**, przyłącza - **kołnierzowy**

ZESTAWIENIE DANYCH O ODWADNIACZACH PRZEZNACZONYCH DO TESTOWANIA ZA POMOCĄ VKP40																		
Firma _____ Zakład (Instalacja) _____ Dział zakładu (Sekcja instalacji) _____										Bimetalowy Membranowy Pływakowy Dźwonowy Termodynamiczny		Producent	Ciśnienie przed odw. (barg)	Ciśnienie za odw. (barg)	Średnica nominalna DN	Ciśnienie nominalne PN	Przyłącza	
Oznakowanie odwadniacza uwzględniające miejsce jego instalacji #										B Parogrzejka D Rurociąg pary W Wym. ciepła	Oznaczenie typu (wg producenta) #	Typ #	Producent	Ciśnienie przed odw. (barg)	Ciśnienie za odw. (barg)	Średnica nominalna DN	Ciśnienie nominalne PN	Przyłącza
# Pola danych wymaganych od użytkownika										Zastosowanie*								
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		

Rys.9 Zestawienie odwadniaczy przeznaczonych do testowania za pomocą GESTRA VKP40

W przypadku zastosowania przez testującego urządzenia GESTRA VKP-40 zamiast konieczności wypełniania ręcznego takich arkuszy (lub też po ich przygotowaniu), możliwe jest wypełnienie specjalnie opracowanego arkusza Excel, który następnie jest importowany bezpośrednio do komputera testującego. Dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu obsługowemu możliwy jest następnie eksport zadań o przeznaczonych do testowania odwadniaczach z komputera do urządzenia testującego VKP-40. Dzięki takiej procedurze czas przygotowawczy skracany jest do niezbędnego minimum. Jeżeli przekazane zostaną arkusze wypełnione ręcznie, testujący jest zmuszony wprowadzić osobiście do oprogramowania każdy opisany odwadniacz. Dzięki funkcjom domyślnego wspomaganie w oprogramowaniu procedura ta jest nieco uproszczona, ale wymaga nakładu pracy i koncentracji.

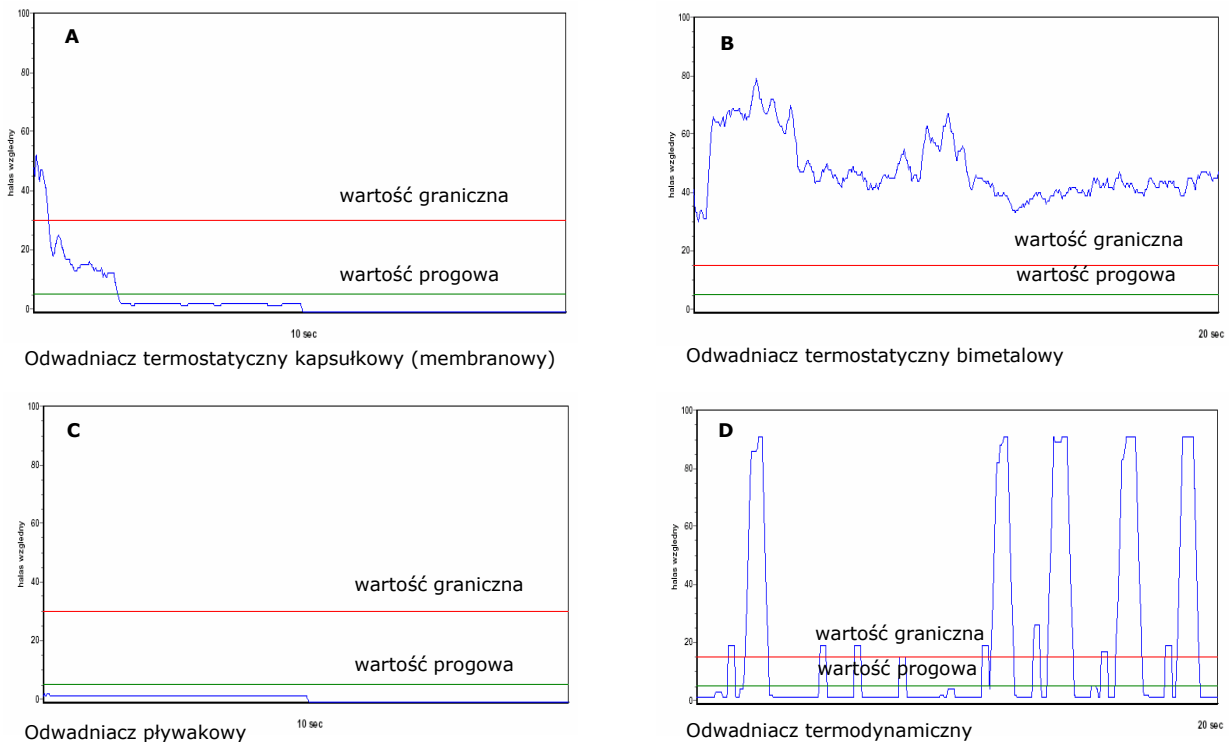
Z doświadczenia testującego: warto wpisać do zadań testów kilka dodatkowych odwadniaczy, niejednokrotnie zdarzyło mi się wykryć „nieistniejące” odwadniacze, a w niektórych przypadkach warto wykonać kilka pomiarów dodatkowych (testy obiektu).

4.2 Test

Po przeniesieniu określonych zadań testów do urządzenia pomiarowego VKP-40 można się udać na obiekt i zacząć testować wyznaczone do badań odwadniacze. Testujący oprócz urządzenia testującego powinien mieć ze sobą:

- zestawienie odwadniaczy w wersji wydrukowanej, z miejscem przeznaczonym na wpisywanie uwag na temat badanych odwadniaczy lub instalacji,
- latarkę, suwmiarkę, szkło powiększające – czyli przyrządy ułatwiające identyfikację odwadniaczy (warto polecić również aparat cyfrowy – ale nie wszędzie użytkownik wyraża zgodę na jego stosowanie),
- środki zapewniające BHP stosownie do miejsca, w którym przeprowadzane są badania.

W przypadku testów na zlecenie ważne jest, aby testującemu towarzyszył pracownik techniczny ze strony użytkownika, który dobrze zna położenie odwadniaczy na instalacji, jej specyfikę i będzie mógł odpowiadać na pytania testującego.



Rys.10 Przykładowe wykresy ultradźwięków mierzonych za pomocą VKP40

Sam test odwadniacza za pomocą urządzenia VKP-40 trwa 10 lub 20 sekund zależnie od uzyskiwanych wyników. Jeżeli wykryty zostanie proces szczelnego zamknięcia odwadniacza (rysunek 10a) – wykres mierzonych ultradźwięków spada poniżej linii wartości progowej – urządzenie już po 10 sekundowym pomiarze uznaje, że odwadniacz pracuje poprawnie. Brak zjawiska szczelnego zamknięcia (rysunek 10b) powoduje wydłużenie okresu pomiarowego do 20 sekund. W przypadku braku zjawiska szczelnego zamknięcia się odwadniacza w czasie cyklu testowego należy test powtórzyć (czasami kilkakrotnie), tak aby wyeliminować przypadek ruchowy chwilowego znacznego napływu kondensatu. Wystąpienie szczelnego zamknięcia odwadniacza podczas któregośkolwiek z cykli pomiarowych spowoduje zakwalifikowanie odwadniacza jako sprawnego.

Z kolei brak szczelnego zamknięcia spowoduje wdrożenie następującej procedury:

- średnia wartość mierzonego hałasu względnego mniejsza od wartości granicznej - odwadniacz zostanie zaakceptowany jako działający poprawnie,
- czujnik temperatury wbudowany w VKP40 wykryje znaczną różnicę temperatury między wprowadzoną temperaturą nasycenia pary, a temperaturą korpusu odwadniacza - odwadniacz zostanie opisany jako powodujący spiętrzenie kondensatu,
- pytanie czy przepływ kondensatu jest mniejszy niż 50-100 kg/h, w przypadku przepływów większych, należy tak stymulować proces, aby chwilowo na czas testu uzyskać przepływy mniejsze i ponownie przeprowadzić test odwadniacza (przepływy kondensatu >100kg/h powodują zbyt silne zakłócenia dla zapewnienia pewnego pomiaru),
- średnia wartość mierzonego hałasu względnego większa od wartości granicznej - następuje pytanie o obce źródła hałasu z podaniem wartości referencyjnej, w tym momencie należy sprawdzić poziom ultradźwięków zakłócających w pewnej odległości przed i za odwadniaczem oraz porównać uzyskiwane wartości z podaną wartością referencyjną.
 - wartości zakłóceń bliskie lub większe wielkości referencyjnej uniemożliwiają poprawny pomiar – konieczne jest określenie przyczyn występowania tych zakłóceń, ich eliminacja, a następnie ponowny test odwadniacza,
 - wartości zakłóceń dużo mniejsze od wartości referencyjnej – zakładany brak zakłóceń – odwadniacz zostanie zakwalifikowany jako niesprawny.

Przebieg ultradźwięków pokazany na rysunku 10c może świadczyć o następujących stanach ruchowych:

- przed odwadniaczem znajduje się para i odwadniacz zamknął się szczelnie – pracuje poprawnie,
- brak przepływu przez odwadniacz na skutek jego zablokowania np. przez zanieczyszczenia, wadliwe działanie lub zamknięty zawór odcinający – w takim przypadku temperatura odwadniacza znacznie różni się od temperatury nasycenia i urządzenie VKP40 dzięki wbudowanemu czujnikowi temperatury wykryje taki stan i zadeklaruje taki odwadniacz jako zablokowany lub spiętrzający kondensat.

Charakterystyka pracy odwadniacza termodynamicznego odbiega znacząco od charakterystyk pozostałych odwadniaczy – rysunek 10d. W procedurze jego testu sprawdzane są jedynie:

- szczelność zamknięcia – zejście poniżej wartości progowej
- ilość cykli otwarć/zamknięć – przekroczenie liczby 7 cykli na minutę powoduje kwalifikację odwadniacza jako przepuszczającego parę – niesprawnego.

Wartości graniczne i progowe są ściśle związane z typami odwadniaczy, a nie konstrukcjami poszczególnych producentów – dzięki temu VKP40 umożliwia badanie odwadniaczy wszystkich typów od różnych producentów.

4.3 Analiza i omówienie wyników

Po zakończeniu testów odwadniaczy na instalacji należy wyniki przeprowadzonych badań przesłać przez podłączenie VKP40 do tego komputera, na którym przygotowano i wyeksportowano zadania testów. Należy pamiętać, żeby między przesłaniem zadań testów do VKP40 i pobraniem wyników badań z VKP40 nie wprowadzać w komputerze żadnych zmian w bazie odwadniaczy – takie działanie doprowadzi do braku możliwości wymiany danych ze względu na niespójne bazy danych. Po imporcie wyników testów do ostatecznej analizy i oceny wyników wykorzystujemy oprogramowanie komputerowe VKP40 – rysunek 11. Umożliwia ono ponowny przegląd wszystkich testowanych odwadniaczy, porównanie kilku badań tego samego odwadniacza prowadzonych na przestrzeni czasu, wpisywanie uwag zgłaszanych podczas testu, eksport wyników w formie arkusza Excel oraz drukowanie krzywych przebiegów ultradźwięków, zestawień, zleceń wymiany lub napraw.



Rys.11 Oprogramowanie VKP40 umożliwiające przyjazną użytkownikowi obsługę baz danych i wyników za pomocą PC.

Forma przygotowania zestawienia wyników testów oraz forma analizy tych wyników powinny zostać uzgodnione ze zleceniodawcą testów. Zazwyczaj wykonywane są:

- zestawienie wyników testów, z którym jednoznacznie oznaczono odwadniacze do wymiany, naprawy lub konserwacji,
- zbiór wydruków wykresów krzywych ultradźwięków dla umożliwienia użytkownikowi przeprowadzenia analizy korygującej lub porównania wyników badań prowadzonych przez kilka lat,
- uwagi do testowanej instalacji parowej (mogą dotyczyć np. nieprawidłowości w montażu odwadniaczy lub innych elementów wyposażenia instalacji pary i kondensatu),
- po wcześniejszym uzgodnieniu z użytkownikiem możliwe jest dodatkowe wykonanie analizy ekonomicznej zwrotu nakładów na badanie i wymianę uszkodzonych odwadniaczy np. zgodnie z opisem w rozdziale 5,
- testujący powinien w oparciu o swoje doświadczenia zasugerować użytkownikowi następną terminu testu odwadniaczy.

Zalecane jest również dodatkowe ustne omówienie wyników wraz z ich analizą w formie mini prezentacji i dyskusji.

4.4 Kolejne testy okresowe

Testujący powinien na zakończenie zasugerować i o ile to możliwe wstępnie uzgodnić następną termin testów. W określeniu następnego terminu powinien się kierować swoim doświadczeniem, wynikami ostatniego testu oraz ogólną wiedzą na temat testowanej instalacji. Jeżeli testowana instalacja jest stosunkowo nowa (<5 lat) i testy wypadły w miarę pomyślnie (większość odwadniaczy zamyka się szczelnie), to następną test można przeprowadzić po 2 latach. Dla starszych instalacji (>7 lat) i znacznej ilości odwadniaczy pracujących na granicy poprawności zalecane jest testowanie coroczne (czasami częstsze np. w zakresie pewnej części instalacji). W przypadku, gdy na instalacji pracują w większości odwadniacze termodynamiczne zalecana jest ich kontrola co pół roku, ze względu na bardzo szybki progresywny wzrost ilości traconej pary na skutek utraty szczelności zamknięcia.

5. Analiza wyników testów pod kątem ekonomicznej pracy systemu pary i kondensatu

Z punktu widzenia zarządzających przedsiębiorstwami produkcyjnymi ważne są przede wszystkim: wysokość sprzedaży, niezakłócony cykl produkcyjny i koszty produkcji. Dla uzyskania zgody na przeprowadzenie wymiany urządzeń czy też modernizacji, służby techniczne muszą przedstawić nie tylko techniczne uzasadnienie takich czynności, ale również analizę ekonomiczną określającą wpływ tych działań na koszty produkcji.

W przypadku odwadniaczy, których ewentualna wadliwa praca będzie miała bezpośredni wpływ na zakłócenie cyklu produkcji nie będzie żadnych przeciwwskazań ze strony zarządu, a wręcz żądanie natychmiastowej wymiany i utrzymywania na magazynie urządzenia zastępczego. Jednakże dla pozostałych odwadniaczy już takiego zrozumienia nie będzie. Tu powstaje ważne zadanie dla służb technicznych zakładu polegające na przedstawieniu zarządowi analizy ekonomicznej mówiącej o wysokości strat energii i innych niebezpieczeństwach związanych np. z uderzeniami wodnymi, których można uniknąć dzięki prowadzeniu systematycznych testów odwadniaczy i wymianie niesprawnych odwadniaczy.

W dalszej części przedstawiono bardzo uproszczony, ale wiele mówiący przykład prostej analizy ekonomicznej.

5.1 Wyznaczenie ceny jednostkowej pary produkowanej w zakładzie

Analizę rozpoczynamy od wyznaczenia ilości paliwa potrzebnego do wytworzenia w kotle parowym 1 tony pary, wykorzystujemy w tym celu następujący wzór [1]:

$$(B/G) = \frac{1000 \cdot (h'' - h_{wu})}{W \cdot \eta} \quad [1]$$

gdzie:

- (B/G) ilość kg paliwa potrzebna do wytworzenie 1 tony pary - [kg/t] lub dla gazu ziemnego [Nm³/t]
- h'' entalpia pary nasyconej przy ciśnieniu roboczym w kotle [kJ/kg] z tablic parowych (dla kotłów parowych z przegrzewaczem pary należy wprowadzić entalpię pary przegrzanej)
- h_{wu} entalpia wody uzupełniającej [kJ/kg] (zazwyczaj przyjmuje się 42 kJ/kg dla temperatury 10°C), we wzorze występuje entalpia wody uzupełniającej (nie zasilającej) ponieważ w uproszczeniu zakładamy, że para która przebija się przez odwadniacz jest tracona i system musi być uzupełniony zimną wodą
- W wartość opałowa paliwa [kJ/kg] dla węgla i paliw ciekłych lub [kJ/Nm³] dla paliw gazowych
- η sprawność kotła [-]

Następnie możemy określić koszt wyprodukowania 1 tony pary wodnej w kotle parowym:

$$K_{pary} = \frac{(B/G) \cdot K_{paliwa}}{1000} \quad [2] \text{ dla węgla i paliw ciekłych}$$

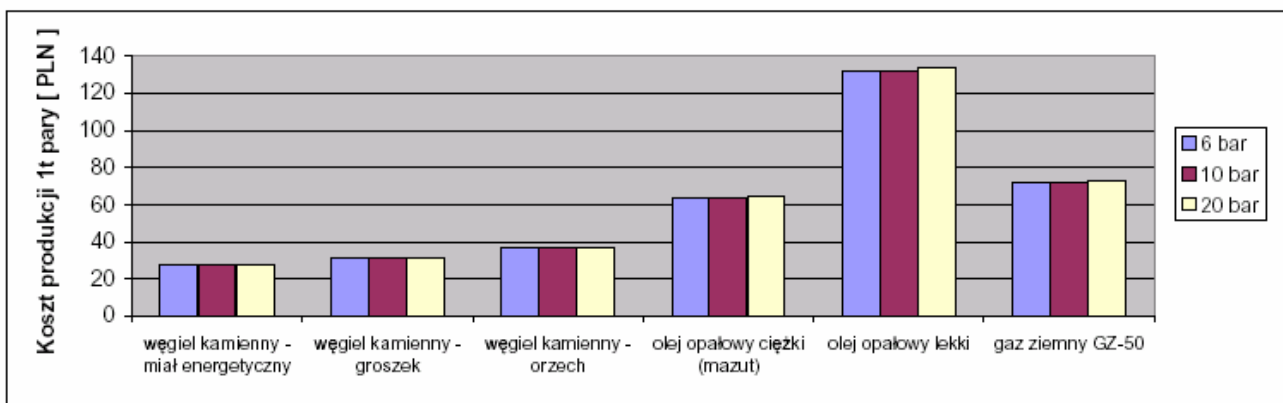
lub

$$K_{pary} = (B/G) \cdot K_{gazu} \quad [3] \text{ dla paliwa gazowego}$$

gdzie:

- K_{pary} koszt produkcji 1t pary [PLN/t]
- K_{paliwa}, K_{gazu} cena paliwa u użytkownika [PLN/t] dla węgla i paliw ciekłych lub [PLN/Nm³] dla paliw gazowych

Podstawiając odpowiednie dane charakterystyczne dla zakładu możemy wyznaczyć w przybliżeniu koszt produkcji 1t pary, który jest niezbędny dla późniejszego określenia wskaźników ekonomicznych. Przedstawiona metoda jest wynikiem znacznych przybliżeń i uproszczeń, nie uwzględnia się w niej kosztów związanych ze stratami na odsalanie i odmulanie, zmian sprawności kotła w funkcji jego obciążenia, kosztów energii elektrycznej zasilającej urządzenia paleniskowe i pomocnicze, kosztów obsługi, napraw, konserwacji itp. Uzyskane przybliżenie można jednak uznać za wystarczające, chyba że zakład prowadzi własną dokładną i szczegółową wycenę produkcji nośnika energii.



Rys.12 Przykładowe koszty produkcji 1 tony pary dla różnych paliw i ciśnień roboczych

Na rysunku 12 pokazano przykładowe wielkości kosztów produkcji 1 tony pary dla kotłów opalanych różnymi paliwami (z uwzględnieniem specyfiki kotła) – koszty zostały wyznaczone w oparciu o przedstawioną wcześniej metodykę. Wartości te można wykorzystywać dla zgrubnych ocen kosztów. Zróżnicowanie ciśnienia roboczego w kotle w przedstawionym

zakresie 6 do 20 bar ma stosunkowo niewielki wpływ na koszt pary. Największe różnice wynikają z ceny zastosowanego paliwa.

5.2 Ilość pary traconej przez niesprawne odwadniacze i koszt ciepła traconego

Wykorzystując metodę ultradźwiękowej kontroli pracy odwadniaczy jest bardzo trudno dokładnie określić, ile pary przebija się przez niesprawny odwadniacz. W przypadku większości systemów pomiarowych jedynie bardzo doświadczony testujący może taką wielkość szacować w oparciu o odczytywaną wartość mierzonych ultradźwięków i własne doświadczenia.

W odróżnieniu do innych systemów pomiarowych system VKP40 i jego oprogramowanie wykorzystywane do analizy wyników testów odwadniaczy, umożliwiają automatyczne oszacowanie strat pary przebijającej się przez uszkodzone odwadniacze w oparciu o wartość mierzonych ultradźwięków i dane wynikające z wielu przeprowadzonych przez producenta urządzenia doświadczeń. Analiza ta dokonywana po wyborze opcji „Analiza ekonomiczna”, a wymaga jedynie przywołania grupy testowanych odwadniaczy i wpisania kosztu produkcji tony pary w zakładzie w którym badano odwadniacze. Wynik w postaci określenia sumarycznej ilości pary traconej przez odwadniacze oraz kosztu ciepła traconego pojawi się automatycznie.

Co zrobić jeżeli urządzenie testujące, którym przeprowadzamy ultradźwiękowe pomiary poprawności pracy odwadniaczy nie zapewnia nam takich możliwości analizy? Trzeba dokonać pewnych założeń. Większość urządzeń pomiarowych jest tak przystosowana przez producenta, aby z całą pewnością wykrywane były przebicia pary w wysokości powyżej 2,0kg/h (VKP40 identyfikuje ilości traconej pary już od wielkości 0,5 kg/h). Klasyfikując odwadniacz jako przepuszczający parę w oparciu o dane producenta i własne doświadczenia można przyporządkować różne wartości dla każdego testowanego odwadniacza lub też założyć, że średnia wielkość przebicia pary przez wykryte niesprawne urządzenia będzie w wysokości ok. 3 kg/h (dla odwadniaczy DN15-25).

$$S_{\text{pary}} = n_{\text{niesprawnych}} \cdot \tilde{S}_{\text{pary}} \quad [4a] \quad \text{lub} \quad S_{\text{pary}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{pary}}^i \quad [4b]$$

Mnożąc ilość niesprawnych odwadniaczy $n_{\text{niesprawnych}}$ przez średnią wielkość przebicia przez jeden niesprawny odwadniacz [4a] lub sumując szacowane straty pary na poszczególnych niesprawnych odwadniaczach [4b], uzyskujemy łączną stratę pary S_{pary} przebijającej się przez uszkodzone odwadniacze w ciągu godziny ich pracy. Żeby określić jaką dużą roczną stratę pary $S_{\text{pary}}^{\text{roczna}}$ powodują wykryte w systemie niesprawne odwadniacze pracujące z przebicciem pary konieczne jest określenie czasu pracy T_{pracy} instalacji w ciągu roku. Najczęściej czas ten określa się mnożąc średni dobowy czas T_{dobowy} pracy instalacji przez ilość dni $n_{\text{dni-pracy}}$ pracy eksploatowanej instalacji pary [5].

$$T_{\text{pracy}} = T_{\text{dobowy}} \cdot n_{\text{dni-pracy}} \quad [5]$$

Pozostaje do wyznaczenia koszt ciepła K_{strat} [PLN/rok] traconego w ciągu roku z parą przebijającą się przez niesprawne odwadniacze [6]. Do tego celu wykorzystujemy wyznaczone wcześniej wielkości:

- koszt tony produkowanej w zakładzie pary K_{pary} [PLN/t],
- łączną stratę pary S_{pary} [kg/h] przebijającej się przez uszkodzone odwadniacze w ciągu godziny ich pracy
- czas pracy T_{pracy} [h/rok] instalacji w ciągu roku

$$K_{\text{strat}} = \frac{K_{\text{pary}} \cdot S_{\text{pary}} \cdot T_{\text{pracy}}}{1000} \quad [6]$$

W ten sposób określamy wysokość strat ponoszonych rocznie na skutek pracy w naszej instalacji niesprawnych odwadniaczy.

Jeżeli po testach odwadniacze te zostaną wymienione na nowe i w pełni sprawne, to koszt potencjalnych strat K_{strat} zmienimy w koszt uzyskanych oszczędności P . Oczywiście na zakup nowych odwadniaczy i test pracy odwadniaczy ponoszone zostają koszty inwestycyjne I . Wszystkie te wielkości wykorzystywane mogą być w analizie ekonomicznej przedsięwzięcia.

5.3 Analiza ekonomiczna

Najczęściej spotykanym statycznym kryterium oceny efektywności ekonomicznej jest prosty czas zwrotu nakładów SPBT (Simple Pay Back Time), który jest definiowany jako czas potrzebny do odzyskania nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację danego przedsięwzięcia [7]. Wskaźnik ten określa czas od momentu uruchomienia inwestycji do chwili, gdy suma korzyści brutto uzyskanych w wyniku realizacji inwestycji zrównoważy poniesione nakłady i koszty eksploatacyjne.

$$SPBT = \frac{I}{P - K} \quad [7]$$

gdzie:

- I koszt inwestycyjny związany z testowaniem odwadniaczy, zakupem nowych odwadniaczy na wymianę określonych jako niesprawne, montażem odwadniaczy
- P wartość uzyskanych oszczędności, w naszym przypadku wartość ta jest równa wyznaczonemu kosztowi potencjalnych strat $P = K_{\text{strat}}$ związanych ze stratą ciepła przez niesprawne odwadniacze
- K koszty eksploatacyjne

Jeżeli wartości P i K odgraniczymy do wielkości uzyskiwanej rocznie to wskaźnik SPBT mniejszy od jedności będzie mówił o czasie zwrotu nakładów poniżej jednego roku, większy od jedności powyżej jednego roku. Zależy nam oczywiście na uzyskiwaniu jak najniższych wartości wskaźnika SPBT.

Wskaźnik ten cechuje duża poglądowość i prostota. Podstawową jego wadą jest to, że nie uwzględnia całego okresu funkcjonowania przedsięwzięcia, lecz skupia uwagę inwestora na jego fazie początkowej. Służy zazwyczaj do wstępnej oceny efektywności przedsięwzięcia dając poglądową ocenę czasu zamrożenia aktywów finansowych inwestora.

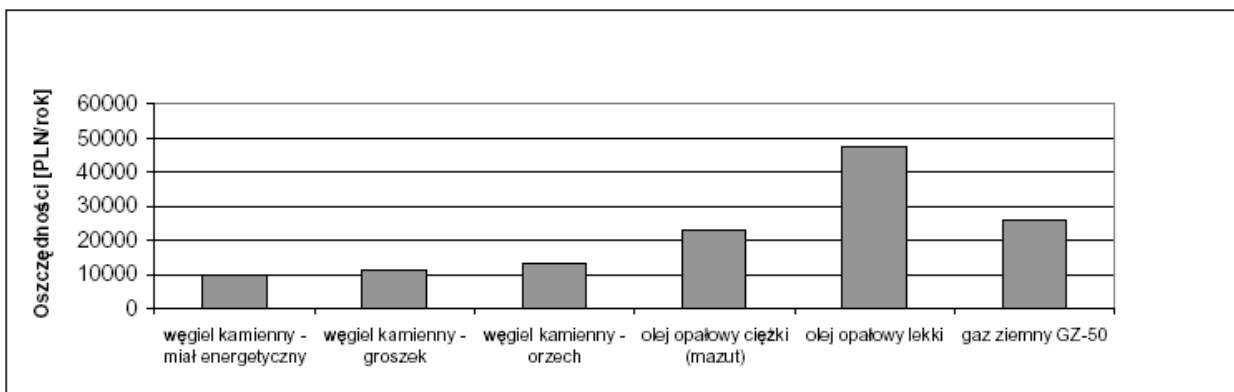
Można również wykorzystywać tzw. dynamiczne współczynniki oceny efektywności ekonomicznej (np. NPV, NPVR itp.), zapewniają one dużo lepsze monitorowanie i obejmują cały okres „życia przedsięwzięcia”, ale ich zastosowanie wymaga dużo większej wiedzy na temat szczegółów projektu i uwarunkowań zakładu, w którym jest realizowany.

Przykład 1

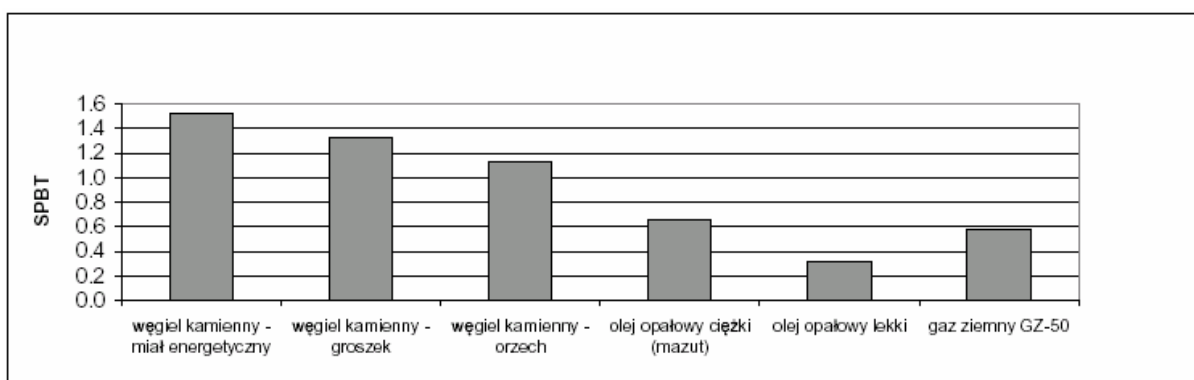
Założenia:

- kocioł parowy wytwarza parę nasyconą o ciśnieniu 10 barg,
- rozpatrzmy różne ceny pary zgodnie z rysunkiem 12,
- instalacja pracuje na dwie zmiany (16h na dobę) przez 250 dni w roku co daje 4000 h pracy rocznie
- testujący przebadali 100 odwadniaczy i wykrył, że 30 odwadniaczy pracuje z przebicciem pary szacowanym średnio na 3kg/h,
- średni koszt zakupu nowego odwadniacza termostatycznego DN15-25 wynosi ok. 450,-- PLN, co przy wymianie 30 szt. odwadniaczy i uwzględnieniu kosztu badania odwadniaczy daje łączny koszt inwestycyjny na poziomie 15000,-- PLN.

Obliczenia rocznych oszczędności ciepła traconego dla przedstawionych powyżej danych zebrano w formie rysunkowej – rysunek 13. Wartości wskaźnika SPBT przedstawiono na rysunku 14.



Rys.13 Obliczenia rocznych oszczędności ciepła traconego dla przyjętych założeń



Rys. 14 Wielkości wskaźnika SPBT dla przyjętych założeń

Przeprowadzone obliczenia pokazują, że w przypadku wykorzystywania w zakładzie paliw ciekłych lub gazowych SPBT charakteryzuje się wartościami poniżej jedności, co jest idealnym wskaźnikiem z punktu widzenia opłacalności inwestycji. W przypadku węgla ze względu na nieco niższe koszty produkcji pary współczynnik nie jest tak niski, ale również bardzo atrakcyjny. Pamiętać należy, że przy przeciętnej żywotności nowego odwadniacza wahającej się od 8 do 10 lat eksploatacji, to po wymianie wadliwego przez następne kilka lat mamy już do czynienia jedynie z uzyskiwaniem oszczędności.

Przykład 2 - wynikający z rzeczywistych testów odwadniaczy w zakładzie

W niewielkim zakładzie przemysłowym wykorzystującym parę w procesie produkcyjnym wykonane zostały trzy kolejne testy poprawności pracy odwadniaczy. Zakład powstał w 1996 roku i wykorzystuje parę produkowaną w kotle opalanym gazem GZ-50.

Do roku 2004 nie przeprowadzono żadnych testów poprawności pracy odwadniaczy. Po 8 latach eksploatacji zauważono niepokojąco wzrastającą ilość pary wydmuchiwanej na dach. Zdecydowano się przeprowadzić pomiary poprawności pracy odwadniaczy. Pomiary takie były wykonywane w odstępie roku. Wiąże się to z faktem, że dla zainstalowanych odwadniaczy po 8-10 latach kończy się cykl żywotności i odwadniacze zaczynają się psuć.

W tabeli 1 zestawiono ogólne wyniki badań oraz wyznaczono jakie oszczędności uzyskał ten zakład wdrażając program cyklicznych badań i wymiany uszkodzonych odwadniaczy w porównaniu do zaniechania tego typu działań w okresie (od 11.2004 do 11.2007). Nawet przy stosunkowo niewielkiej ilości odwadniaczy korzyści są wysokie.

data testu	ilość badanych odwadniaczy	odwadniacze pracujące z przebiegiem pary	strata pary	strata pary przy braku wymiany odwadniaczy od daty testu do 11.2007	koszt ciepła traconego przy braku wymiany odwadniaczy od daty testu do 11.2007	wartość zakupu nowych odwadniaczy + koszt testu	oszczędności wynikające z systematycznej wymiany odwadniaczy
-	szt.	szt.	kg/h	t	PLN	PLN	PLN
11.2004	57	11	33	396	26928	(6150)	20778
11.2005	60	14	42	336	22848	(7500)	15348
11.2006	65	10	30	120	8160	(5700)	2460
Łącznie od 11.2004 do 11.2007				852	57936	(19350)	38586

Tabela 1. Zestawienie wyników badań i oszczędności uzyskanych w wyniku przeprowadzonych testów i wymiany niesprawnych odwadniaczy na nowe.

Warto dodać, że już podczas pierwszej kontroli w tym zakładzie nastąpiło wykrycie spinki DN15 para/kondensat (zapomniano zainstalować odwadniacz), przez którą przez 8 lat bez przerwy para przebijała się na stronę kondensatu, powodując uderzenia wodne i silną erozję rurociągów kondensatu (w obliczeniach w tabeli 1 pominięto wartość pary traconej w wyniku spinki, aby pokazać oszczędności związane tylko z wymianą odwadniaczy na sprawne).

6. Podsumowanie

Kontrola pracy odwadniaczy jest ważna z punktu widzenia zapewnienia wymagań procesu technologicznego, a także poprawnej i ekonomicznej pracy instalacji pary i kondensatu. Można z całą pewnością założyć uzyskanie korzyści ekonomicznych wynikających z okresowego przeprowadzania takiej kontroli oraz wykonania jej zaleceń. W przypadku prowadzenia badań na zlecenie przez firmy zewnętrzne proszę dokładnie sprawdzać doświadczenia, referencje i sprzęt testującego. Przestrzegam przed testami darmowymi, które nie zobowiązują testującego do pełnej analizy i wiarygodności przedstawionych wyników, w takim przypadku testującemu zależy przede wszystkim na sprzedaży jak największej liczby odwadniaczy. Jeżeli mamy wątpliwości, co do stosowanych metod badań i opracowania wyników, warto poprosić testującego o promocyjne (darmowe) sprawdzenie kilku odwadniaczy dla zapoznania się ze sposobem jego pracy oraz w celu uzgodnienia formy opracowania wyników.

W przypadku zainteresowania tematyką poruszaną w niniejszym opracowaniu lub chęcią przeprowadzenia profesjonalnej kontroli odwadniaczy w Państwa zakładzie proszę o kontakt:

Krzysztof Szalucki

tel. kom. 0-602 614535

info@szalucki.pl

www.szalucki.pl