

Audyt energetyczny dużego przedsiębiorstwa – doświadczenia z realizacji

Wprowadzenie

Audyt energetyczny dużego przedsiębiorstwa to kompleksowe spojrzenie na zakład przemysłowy realizowane w celu określenia stanu technicznego oraz efektywności pracy poszczególnych instalacji. Ocenie podlegają m.in. linie produkcyjne, urządzenia wchodzące w skład instalacji oraz sieci ogólnozakładowe (elektryczne, ciepłe). Podstawowym celem audytu energetycznego jest ocena stanu istniejącego oraz propozycja przedsięwzięć pozwalających obniżyć energochłonność zachodzących w zakładzie procesów. W oparciu o wieloletnie doświadczenia ENERGOPOMIAR wypracował metodykę postępowania podczas realizacji audytów. W dużych przedsiębiorstwach można podzielić ją na następujące etapy:

- inwentaryzacja,
- program audytu,
- audyt właściwy,
- raport z audytu.

W dalszej części artykułu szczegółowo omówione zostaną poszczególne etapy wraz z przykładami ich realizacji.

Inwentaryzacja

Rozpoczęcie audytu energetycznego to szeroko pojęte nawiązanie współpracy pomiędzy audytorem a kadrą kierowniczą i pracownikami odpowiedzialnymi za wybrany obszar instalacji. Początkowo następuje przekazanie danych dotyczących zużycia poszczególnych mediów (energii elektrycznej, ciepła, chłodu itp.) oraz uproszczonych opisów procesów technologicznych wraz z wszelkimi informacjami na temat urządzeń wchodzących w skład instalacji. Zebrane informacje pozwalają audytorowi na stworzenie obrazu zachodzących wewnątrz instalacji procesów, natomiast nie wskazują kierunków, w których należy szukać rezerw. W trakcie rozmów z kadrą kierowniczą oraz pracownikami szeregowymi podczas wizji lokalnych audytor zaznajamia się ze specyfiką prowadzonych procesów oraz z tym co stanowi o ograniczeniach dla danego wycinka instalacji. Występują sytuacje, w których obsługa dzieli się informacjami na temat problemów występujących na instalacji oraz wskazuje na obszary, które mogą stanowić potencjał oszczędności energii.

Przykładowo podczas jednej z wizji lokalnych kierownictwo odpowiadające za instalację wskazało problem braku izolacji termicznej na hali produkcyjnej. Powodowało to nadmierne straty ciepła do otoczenia i w rezultacie znacznie zwiększało koszty ogrzewania. W innym przypadku wskazano na problem z osiągnięciem parametrów znamionowych przez rezerwową pompę próżniową. W konsekwencji podczas remontów pompy podstawowej, z uwagi na niedotrzymanie odpowiedniej próżni w układzie, obsługa instalacji była zmuszona obniżyć produkcję. Kolejnym przykładem może być problem z pracą wyparki (zabudowanej przy kolumnie

stabilizacyjnej) w przedsiębiorstwie petrochemicznym. Nieprawidłowa praca wyparki powodowała zaburzenia w pracy kolumny stabilizacyjnej.

Program audytu

Efektom przeprowadzonej inwentaryzacji jest „Program audytu”, który ma postać dokumentu zawierającego wszystkie koncepcje, jakie nasunęły się audytorowi w trakcie przeprowadzonych wizji lokalnych. W punktach wyszczególnione są działania dotyczące poszczególnych urządzeń, ciągów produkcyjnych i układów, które zostaną poddane analizie. Pomiary przewidziane w danym zakresie zawierają koncepcję dotyczącą aparatury, jej montażu oraz wymagań względem obsługi instalacji. Zdarzają się sytuacje, w których audytor proponuje przeprowadzenie pomiarów trudnych bądź wręcz niemożliwych do zrealizowania w trakcie normalnej eksploatacji. Dlatego szczególnie istotnym jest, aby Zleceniodawca dokładnie zapoznał się z dokumentem oraz naniósł swoje uwagi i sugestie. Czasem obsługa bądź kierownictwo instalacji może wyjść z propozycją dodatkowych pomiarów lub analiz, o które chce uzupełnić program pomiarów. Duże znaczenie ma także harmonogram prowadzonych działań, właściwie odniesiony do możliwości eksploatacyjnych. Zdarzają się przypadki, w których audytor proponuje realizację pomiarów w sposób ciągły, co z uwagi na prowadzony proces nie jest możliwe. W programie zawarte są również wymagania audytora względem Zleceniodawcy, np. prośba o przekazanie danych technicznych poszczególnych urządzeń oraz w przypadku braku punktów pomiarowych o ich wykonanie. Często jest to konieczne do wyznaczenia dokładnych parametrów w kluczowych punktach instalacji, które wpływają na jakość wyników przeprowadzonych analiz i obliczeń.

W programie audytu dla jednego z klientów zaproponowano pomiary na przenośnikach taśmociągowych. Zasugerowano regulację ilości rudy transportowanej przez przenośnik za pomocą zmiany skoku podawacza. Kierownictwo instalacji zwróciło jednak uwagę na problem z przestawieniem nastaw podawacza oraz na zbyt długi przewidywany czas modyfikowania jego ustawień. W wyniku konsultacji zaproponowano pomiary kilkudniowe obejmujące różne obciążenia taśmy bez konieczności ingerencji w układ nastaw podawaczy.

W innym przypadku zaproponowano pomiary pomp wody przy różnym obciążeniu. Wystąpiono z propozycją, aby wykonać pomiary mocy miernikiem elektrycznym, wydajności bezinwazyjnym przepływomierzem ultradźwiękowym oraz ciśnień przetwornikami. Małe zainteresowanie obsługi instalacji programem audytu wywołało problemy podczas realizacji pomiarów. W konsekwencji na etapie realizacji pomiarów okazało się, że regulacja pompy nie jest możliwa oraz że na wybranym odcinku nie ma możliwości zamontowania własnej aparatury pomiarowej. Konieczne było wydłużenie prowadzonych pomiarów, co zaburzyło harmonogram prowadzonych prac. Oprócz tego konieczne było wykorzystanie pomiarów ruchowych o mniejszej dokładności, co negatywnie wpłynęło na jakość otrzymanych wyników oraz wyliczone szacunki oszczędności.

Kolejnym przykładem mogą być pomiary porównawcze reaktorów, zaizolowanego oraz niezaizolowanego, pracujących w przedsiębiorstwie chemicznym. Celem porównania było wyznaczenie oszczędności zużycia pary wykorzystywanej do grzania reaktorów w wyniku stosowania izolacji termicznej. Z uwagi na to, iż produkty z analizowanych reaktorów nieznacznie różniły się od siebie, a tym samym przebiegał w nich inny proces chemiczny, obsługa instalacji zaproponowała pomiary eksperymentalne. Zasugerowano podgrzanie tej samej ilości wody zdemineralizowanej w obu reaktorach do uprzednio założonej temperatury. Uprościło to znacznie zaplanowane pomiary i korzystnie wpłynęło na jakość otrzymanych wyników.

Audyty właściwe

Kolejnym etapem audytu energetycznego jest audyt właściwy polegający na przeprowadzeniu działań obiektowych zgodnie z założeniami opisanymi w Programie audytu. Pomiary wykonywane są głównie przy użyciu aparatury własnej, ale stosuje się również aparaturę ruchową użytkowaną na co dzień przez obsługę w celu kontroli eksploatacji. Dla głębszej analizy bądź wyznaczenia oszczędności rocznych wykorzystuje się najbardziej wiarygodne dane archiwalne zgromadzone w systemie za dłuższy okres czasu (miesiąc, półrocze, rok).

Dla urządzeń typu pompa, sprężarka, wentylator itp. zbierane są dodatkowo dane techniczne ruchowe urządzeń oraz ich napędów wraz z dostępnymi charakterystykami pracy. Duże znaczenie ma sposób regulacji oraz parametry, na jakie przewidziane jest dane urządzenie. Zdarza się, że niektóre silniki są znacznie przewymiarowane na wypadek awarii (np. przenośniki taśmowe, pompy, sprężarki, urządzenia technologiczne itp.).

W przypadku sieci ogólnozakładowych (sieć parowa, wodna, sprężonego powietrza oraz innych mediów) przeprowadzana jest dokładna inwentaryzacja takich parametrów jak: długość, średnica i grubość rurociągu, rodzaj stosowanej izolacji oraz parametry źródła i poszczególnych odbiorców.

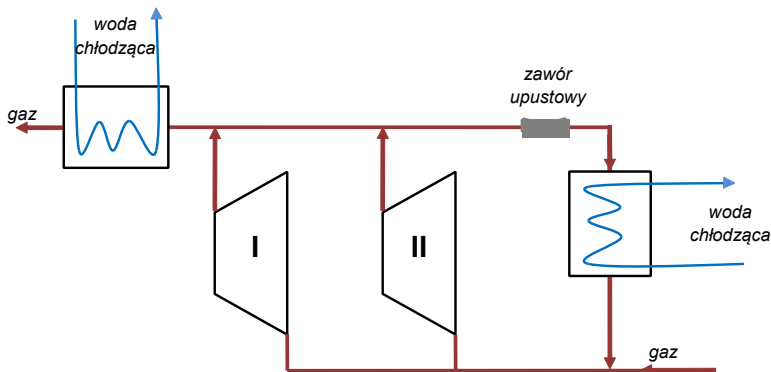
Dla budynku pozyskiwany jest projekt budowlany wraz z informacją na temat roku zabudowy, współczynników przenikania ciepła bądź materiałów, z których wykonany został budynek.

Wiarygodność pozyskanych danych potwierdza się stosując pomiary porównawcze przy użyciu aparatury własnej. Niejednokrotnie występuje konieczność rozszerzenia pomiarów proponowanych w Programie audytu – np. aby zgromadzić większą bazę informacji wiedzy na temat urządzenia bądź zachodzącego procesu lub uzyskać potwierdzony wiarygodny wynik. Zdarza się, że już podczas samych pomiarów nasuwają się nowe wnioski lub propozycje rozwiązań. Występują również sytuacje, w których odstępuje się od zaplanowanych pomiarów z przyczyn technicznych (urządzenie uległo awarii).

W sytuacjach, w których zaplanowany pomiar nie jest możliwy do zrealizowania, stosuje się metody alternatywne lub uproszczone wykorzystując mniej dokładną metodę pomiarową bądź odwołując się do danych znamionowych.

Przykładowo podczas realizacji pomiarów chłodnicy oleju w programie zaproponowano pomiar temperatury przed i za chłodnicą przy wykorzystaniu własnych termopar. Ze względów technicznych nie udało się jednak wymontować miejscowych termopar ruchomych. W rezultacie konieczne było skorzystanie z bezstykowej metody pomiarowej wykorzystującej pirometr. Założono jednocześnie, że temperatura powierzchni rurociągu pod izolacją jest równa temperaturze płynu wewnątrz rurociągu. Dodatkowo miejscowy pomiar ruchowy temperatury za chłodnicą wykorzystano w celu weryfikacji wskazań pirometru. W przypadku temperatury przed chłodnicą, z uwagi na błędne wskazanie pomiaru ruchowego, wykorzystano wyłącznie metodę bezstykową.

Na rysunku 1 przedstawiono kolektorowy układ sprężarek, których zadaniem jest utrzymanie stałego ciśnienia po stronie tłocznej. Każda ze sprężarek zasilana jest z oddzielnego silnika, a regulacja wydajności odbywa się poprzez pracę upustu regulacyjnego. W programie audytu zaproponowano optymalizację pracy układu poprzez eliminację pracy upustu na rzecz zastosowania zmiany prędkości obrotowej. Zasugerowano pomiary bilansowe samych sprężarek, aczkolwiek w trakcie ich realizacji nie było możliwości pomiaru ilości gazu tłoczonego przez poszczególne sprężarki oraz zawracanego upustem. Dlatego dla zbilansowania układu rozszerzono pomiary o chłodnice wodne zainstalowane za sprężarką oraz upustem.



Rys. 1. Układ sprężarek regulowanych zaworem upustowym

Raport z audytu

Zebrane informacje oraz przeprowadzone pomiary stanowią bazę do obliczeń oraz analiz, w efekcie których powstaje „Raport z audytu”. W dokumencie tym dla proponowanych w „Programie audytu” przedsięwzięć przedstawione są efekty energetyczne, ekologiczne oraz ekonomiczne.

W celu wyznaczenia efektów energetycznych przeprowadzane są obliczenia bilansowe oraz cieplne. Dla przypadku analizy dwóch identycznych bądź nieznacznie różniących się od siebie instalacji/ciągów technologicznych wykorzystuje się porównanie oparte o analizę wskaźnikową z wykorzystaniem pomiarów archiwalnych zużycia poszczególnych mediów energetycznych w dłuższym okresie czasu (np. miesiąc lub rok). Występują również sytuacje, w których spodziewane oszczędności ujawniają się w obszarze pominiętym w programie audytu. Sytuacje takie są niezwłocznie zgłaszane kierownictwu ze strony klienta, które inicjuje działania zmierzające do udzielenia zgody na udostępnienie przez obsługę instalacji dodatkowych danych oraz umożliwienie audytorowi przeprowadzenia dodatkowych pomiarów.

Dla każdego proponowanego przedsięwzięcia proefektywnościowo przeprowadza się prostą projekcję finansową, wyznaczając podstawowe wskaźniki ekonomiczne (SPBT, NPV, IRR, itd.). Czasami okazuje się jednak, że efekty energetyczne są znikome w stosunku do nakładów inwestycyjnych i wówczas przeprowadzana jest wyłącznie uproszczona analiza ekonomiczna.

Efekt ekologiczny rozumiany jest jako redukcja emisji CO₂ do środowiska i obliczany jako różnica całkowitej emisji CO₂ w kontekście obszaru objętego audytem przed i po wdrożeniu środka poprawy efektywności energetycznej.

Mg/rok

gdzie:

ΔE_{CO_2} – wielkość redukcji emisji CO₂ [Mg/rok],

E_1 – całkowita emisja CO₂ przed wdrożeniem środków poprawy efektywności energetycznej [kg/rok],

E_2 – całkowita emisja CO₂ po wdrożeniu środków poprawy efektywności energetycznej [kg/rok].

kg/rok

gdzie:

- $B_{1,2}$ – ilość zużytej energii odpowiednio przed i po wdrożeniu środka poprawy efektywności energetycznej [kWh],
- WO – wartość opałowa paliwa [MJ/kg],
- WE – wskaźnik emisji CO₂ [kg/MWh],
- η – sprawność urządzenia ograniczającego wielkość emisji gazów [%].

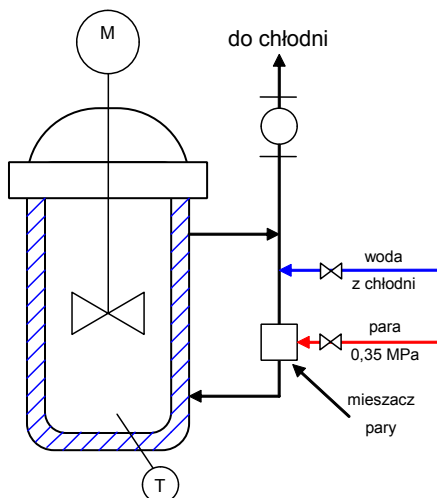
Efekt ekonomiczny wyrażony jest podstawowymi wskaźnikami efektywności inwestycji:

- prosty czas zwrotu SPBT – pozwala oszacować długość okresu, jaki jest potrzebny, aby nakłady inwestycyjne poniesione na realizację danej inwestycji zostały w pełni pokryte przez prognozowane wpływy pieniężne,
- wartość zaktualizowana netto NPV – stanowi sumę zdyskontowanych wszystkich przewidywanych przepływów pieniężnych generowanych przez projekt w całym okresie prognozy,
- wewnętrzna stopa zwrotu IRR – odzwierciedla stopę dyskontową, przy której następuje zwrot poniesionych nakładów inwestycyjnych oraz pokrycie kosztu kapitału zaangażowanego w rozwój firmy.

W przypadku audytów wykonywanych dla NFOŚiGW dodatkowo wyznaczany jest wskaźnik DGC – dynamiczny koszt jednostkowy wskazujący na efektywność ekonomiczną inwestycji odniesioną do efektu ekologicznego.

Przykłady proponowanych przedsięwzięć

- I) W jednej z kopalni zaproponowano zastosowanie sterowników zarządzających pracą wentylatorów lutniowych pełniących rolę pomocniczą przewietrzania wyrobisk górniczych. Pozyskano dane dotyczące miejsc zamontowania wentylatorów oraz wytypowano urządzenia, które mogą zostać czasowo odstawione w dni wolne od pracy. W celu uwiarygodnienia zużycia energii elektrycznej przez poszczególne wentylatory przeprowadzono pomiary elektryczne. Otrzymane wyniki zestawiono ze zużyciem energii przez wszystkie wentylatory. W wyniku przeprowadzonej modernizacji sterowania pracą wentylatorów wyznaczono efekt energetyczny w postaci zmniejszenia energii elektrycznej o 3 400 MWh. Proponowane przedsięwzięcie spowoduje redukcję emisji CO₂ o 14%, a prosty okres zwrotu wyniesie około 1 roku.
- II) Dla przedsiębiorstwa chemicznego przeanalizowano pracę reaktora, w którym prowadzony jest proces chemiczny endotermiczny szarżowy (substraty dostarczane są do reaktora, w którym następuje kilka reakcji chemicznych, a parametry w reaktorze zmieniają się w zależności od rodzaju prowadzonej reakcji). Ciepło w postaci pary bądź chłód jako woda chłodząca doprowadzane są do reaktora poprzez płaszcz (rys. 2). Podczas grzania wykorzystywana jest para 1,2 MPa zredukowana do 0,5 MPa. Dla reaktora wykonano pomiary bilansowe w celu oszacowania ilości pary zużywanej podczas jednej szarży. W tym celu wykorzystano pomiar ruchowy pary 1,2 MPa doprowadzanej do instalacji, który zweryfikowano wskazaniem przepływu kondensatu spływającego z reaktora przy pomocy przepływomierza ultradźwiękowego. Oceniono zapotrzebowanie na ciepło i zaproponowano stosowanie pary o niższych parametrach (o ciśnieniu 0,35 MPa) doprowadzanej do instalacji z sieci ogólnozakładowej. Przedsięwzięcie dla najbardziej pesymistycznych założeń wydłuża czas jednej szarży o 4%, zmniejszy o 6% zużycie energii pierwotnej, zredukuje emisję CO₂ o 3,9%, a prosty okres zwrotu wyniesie około 2 lata. Przedsięwzięcie jest atrakcyjne, a Zleceniodawca rozważa jego realizację.



Rys. 2. Schemat reaktora chemicznego pracującego szarżowo

Dla podobnego reaktora, jak przedstawionego na rysunku 2, zaproponowano zastosowanie izolacji termicznej ograniczającej straty ciepła do otoczenia podczas procesu wygrzewania. Przeprowadzono eksperymentalne pomiary podgrzania 3 ton wody zdemineralizowanej znajdującej się wewnątrz reaktora do temperatury około 70°C. Pomiary przeprowadzono na dwóch podobnych reaktorach (z izolacją oraz bez izolacji). Przeprowadzone pomiary nie były wystarczające, aby określić wiarygodne efekty energetyczne. Uwiarygodnienie wyników przeprowadzono wykonując dodatkowe obliczenia ciepłe przy wykorzystaniu dokładnych wymiarów reaktora oraz informacji na temat rodzaju materiałów, z których jest zbudowany. Podczas przeprowadzonej eksperymentalnej próby wyznaczono straty ciepła do otoczenia, które następnie odniesiono do normalnych warunków pracy. Stwierdzono, że zastosowanie izolacji termicznej ograniczy straty ciepła do otoczenia o 27 MW w ciągu roku. Odpowiada to oszczędnościom rzędu 1000 zł/rok, które okazały się zbyt niskie w stosunku do poniesionych nakładów. W tym przypadku Zleceniodawca odstąpił od realizacji przedsięwzięcia, a dokładniejsze analizy ekologiczne i ekonomiczne zostały pominięte.

Podsumowanie

Poprawny audyt energetyczny stanowi bogaty zbiór informacji dotyczących zarówno poszczególnych urządzeń, jak i całych instalacji. Świeże spojrzenie oraz doświadczenia zdobyte podczas realizacji przemawiają za realizacją audytu firmie zewnętrznej dysponującej odpowiednią aparaturą oraz wykwalifikowaną kadrą inżynierską. Aby końcowy efekt był satysfakcjonujący niezbędne jest zaangażowanie kierownictwa oraz obsługi poszczególnych instalacji. W niektórych przypadkach wiedza w zakresie eksploatacji oraz dobra znajomość prowadzonych procesów skracają czas oraz zawężają kierunki poszukiwań oszczędności w trakcie inwentaryzacji oraz tworzenia „Programu audytu”. Należy także mieć na uwadze, że na

jakość prac pomiarowych oraz wiarygodność efektów energetycznych wpływ ma zarówno zastosowana aparatura pomiarowa, jak i przyjęta metodyka obliczeń.

Literatura

- [1] Kołodziej R.: *Audyt energetyczny – narzędzie poprawy efektywności energetycznej w przedsiębiorstwie*, IV Konferencja Szkoleniowa Zakładu Techniki Ciepłej „Optymalizacja procesów energetycznych – dobra praktyka inżynierska”, Bronisławów 23–25 kwietnia 2012.
- [2] Raport z studium wykonalności wdrożenia modyfikacji pracy instalacji zmieniających jej bilans parowy, opracowanie ENEROPOMIAR Sp. z o.o., Gliwice 2012 (niepubl.).
- [3] Raport końcowy przeprowadzenia testów energochłonności ze szczególnych uwzględnieniem analizy efektywności energetycznej łącznie z propozycjami działań oraz modernizacji w kierunku obniżenia energochłonności, opracowanie ENEROPOMIAR Sp. z o.o., Gliwice 2010 (niepubl.).
- [4] Raport z audytu energetycznego, opracowanie ENEROPOMIAR Sp. z o.o., Gliwice 2012 (niepubl.).
- [5] Raport z audytu energetycznego i elektroenergetycznego, opracowanie ENEROPOMIAR Sp. z o.o., Gliwice 2014 (niepubl.).