

Jacek ZAJĄC¹, Rajmund WŁODARZ¹, Sebastian BORUCKI², Andrzej CICHON²

¹ PPH ENERGO-SILESIA SP. Z O.O., Opolska 21B, 47-120 Zawadzki

² POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI, Prószkowska 76, Budynek 2, 45-578 Opole

Koncepcja redukcji hałasu chłodziń wentylatorowych

Mgr inż. Jacek ZAJĄC

Prezes Zarządu PPH Energo-Silesia sp. z o.o.



e-mail: j.zajac@energosislesia.pl

Mgr inż. Rajmund WŁODARZ

Kierownik serwisu AKP w firmie PPH Energo-Silesia. Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej. Zainteresowania: automatyzacja procesów technologicznych, komputerowe systemy sterowania DCS, systemy SCADA, sterowniki PLC.



e-mail: r.wlodarz@energosislesia.pl

Dr inż. Sebastian BORUCKI

Adiunkt Instytutu Elektroenergetyki, Politechniki Opolskiej. Autor blisko 100 publikacji z zakresu wykorzystania nowoczesnych metod pomiarowych w diagnostyce urządzeń elektrycznych i wysokonapięciowych układów izolacyjnych. Zainteresowania: technika wysokich napięć, diagnostyka urządzeń elektroenergetycznych przy wykorzystaniu metod nieniszczących (m.in. metody emisji akustycznej, metody wibroakustycznej, pomiarów skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego).



e-mail: s.borucki@po.opole.pl

Dr inż. Andrzej CICHON

Adiunkt Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Katedry Wysokich Napięć. Autor blisko 100 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: a.cichon@po.opole.pl

Streszczenie

Tematyka artykułu dotyczy prowadzonych przez firmę Energo-Silesia i pracowników Politechniki Opolskiej badań i prac koncepcyjnych zmierzających do zaprojektowania oraz skonstruowania nowoczesnej, niskoszumnej chłodziń wentylatorowej. Celem omawianych w artykule badań jest próba optymalizacji aktualnie stosowanych w przemyśle konstrukcji olejowo-powietrznych układów chłodzących transformatorów pod kątem możliwości redukcji generowanego przez nie hałasu. W pracy zaproponowano trzy sposoby redukcji poziomu ciśnienia akustycznego poprzez: zmianę kształtu dyfuzora wylotu powietrza, zastosowanie cichobieżnych wentylatorów i regulacji prędkości obrotowej wentylatorów.

Słowa kluczowe: chłodziń wentylatorowa, hałas, skorygowany poziom ciśnienia akustycznego, transformator elektroenergetyczny, ograniczanie hałasu.

The Concept of Noise Reduction of Cooling Fans

Abstract

Working of the power transformer is connected with the issue of ambient noise, which are the main source of cooling fans and vibration magnetostriptive of the core [1, 2]. A power transformer installed on site industrial power should be chosen in such a way that the noise that arises during its normal operation does not exceed the limit values set out in particular in environmental standards [3, 4]. The paper presents the scope of the company's Energo-Silesia and Opole University of Technology staff research and conceptual work aimed to design and construct a modern, low-noise cooling fan. The main objective of the work is an attempt to optimize the methods in the construction industry, oil-air cooling systems of power transformers and the evaluation of constraints generated by the environmental sound pressure level. The paper switched three potential areas for possible reduction of noise produced in the country coolers. The first is the optimization of the structure housing the column and the use of steering cooler air stream (Fig. 1b). The second option is to use a specialized fan blade design, and consequently a reduced power level (Fig. 2 and Fig. 4). However, the last and most widely characterized by the publication of the application of the concept of intelligent speed control of fan motors (Fig. 8 and Fig. 9).

Keywords: cooling fan, noise, corrected sound pressure level, power transformer, noise reduction.

1. Wstęp

Praca transformatora elektroenergetycznego związana jest z emisją hałasu do otoczenia, którego głównym źródłem są m.in.: wentylatory chłodziń, pompy obiegowe oleju elektroizolacyjnego oraz drgania magnetostrykcyjne rdzenia [1, 2]. Transformator zainstalowany na obiekcie energetyki przemysłowej powinien być dobrany w taki sposób, aby hałas jaki powstaje w czasie jego normalnej eksploatacji nie przekraczał dopuszczalnych wartości, określonych w szczególności w normach środowiskowych [3, 4]. Normy te określają dopuszczalne poziomy skorygowanego (zgodnie z charakterystyką filtra A) ciśnienia akustycznego L_A , jakie może występować w otoczeniu eksploatowanego obiektu energetycznego (m.in. stacji bądź linii energetycznej), w zależności od miejsca ich zlokalizowania.

Spełnienie norm środowiskowych dotyczących dopuszczalnego poziomu ciśnienia akustycznego występującego wokół pracujących jednostek transformatorowych stwarza wiele problemów związanych z ograniczeniem emitowanego przez nie do otoczenia hałasu. W szczególności, aktualnym i powszechnym problemem firm produkujących transformatory oraz spółek zajmujących się ich eksploatacją jest dość wysoki poziom skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego oferowanych na rynku urządzeń wymuszonego chłodzenia oleju elektroizolacyjnego.

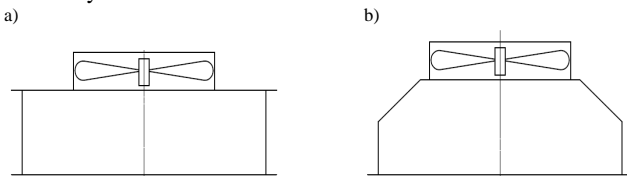
W artykule przedstawiono zakres prowadzonych przez firmę Energo-Silesia i pracowników Politechniki Opolskiej badań i prac koncepcyjnych zmierzających do zaprojektowania i skonstruowania nowoczesnej, niskoszumnej chłodziń wentylatorowej o dużej wydajności cieplnej. Głównym celem prowadzonych prac jest próba optymalizacji stosowanych aktualnie w przemyśle konstrukcji olejowo-powietrznych układów chłodzących do transformatorów elektroenergetycznych i ocena możliwości ograniczenia generowanego przez nie poziomu ciśnienia akustycznego do środowiska naturalnego, m.in. poprzez: optymalizację konstrukcji obudowy chłodziń, zastosowanie cichobieżnych wentylatorów oraz inteligentne sterowanie prędkością obrotową silników.

2. Konstrukcja chłodnicy wentylatorowej olejowo-powietrznej typ CHOP

Budowa dotychczas produkowanych chłodnic lansowana przez firmę Energo-Silesia podyktowana była przede wszystkim względami ekonomicznymi. Konkurencyjny rynek, obniżanie kosztów wytwarzania oraz skracanie terminów wykonania wymusiły na producencie opracowanie konstrukcji prostej i taniej w budowie (konstrukcja uwzględniająca handlowe wielkości komponentów takich jak blachy, rury), uwzględniającej jednak sugestie i uwagi eksploatacyjne swoich Klientów.

Aktualnie, otwierane klapy stały się standardem, a słusność tego rozwiązania została wielokrotnie potwierdzona przez Klientów. W starszych rozwiązaniach, w celu wyczyszczenia przestrzeni rurowej niezbędne było demontowanie silników wentylatorów, a niejednokrotnie konieczny był demontaż całej chłodnic

z transformatora celem zdjęcia całej obudowy. Rozwiązanie z wentylatorami zamontowanymi na ruchomych klapach skraca czas mycia układu 6-ciu chłodnic, dla firmy wykonującej tę usługę, o około 3 dni robocze poprzez wyeliminowanie operacji demontażu wentylatorów. Wymagania techniczne związane z obniżeniem poziomu hałasu w urządzeniach nie omijają również branży energetycznej, oraz firm działających na rzecz tego sektora. Wychodząc naprzeciw wymaganiom Klientów rozpoczęto prace nad nową konstrukcją chłodnic o obniżonym poziomie ciśnienia akustycznego. Przy współudziale pracowników naukowych Politechniki Opolskiej przeprowadzono szereg badań i prób w wyniku, których ustalono, że podstawowym czynnikiem mającym wpływ na poziom hałasu są opory przepływu powietrza przez chłodnicę wywołane przez układ rurowy. Opory przepływu limitują dobór wentylatorów służących do wymuszenia przepływu – większe opory wymagają wentylatorów o większych obrotach, a co się z tym wiąże o podwyższonym poziomie hałasu. Ponadto większa liczba rzędów rur przy dużym przepływie powietrza powoduje wprowadzenie dodatkowego źródła hałasu w postaci tarcia powietrza o ożebrowanie rur. W wyniku badań stwierdzono również, że kształt obudowy nie pozostaje bez znaczenia dla oporów przepływu powietrza i powstających w niej zawirowań. Dodatkowym kryterium przy opracowywaniu nowych konstrukcji było utrzymanie na aktualnym poziomie głośności chłodnic. uwagi oraz zdobyte doświadczenie i uwagi Klientów rozpoczęto prace nad nową konstrukcją chłodnicy, która zapewni obniżenie poziomu hałasu w stosunku do dotychczasowych konstrukcji. Zdecydowano się powrócić do kształtu obudowy zbliżonej do tej lansowanej wcześniej przez inne firmy. Odpowiednio wzmocniona obudowa, z całkowicie przeprojektowanym dyfuzorem wylotu powietrza posiada dodatkowo wytłumienia wewnętrzne eliminujące hałas pochodzący od przepływu powietrza przez część ożebrowaną rur chłodnicy.



Rys. 1. Porównanie kształtów obudowy chłodnicy: a) aktualnej, b) projektowanej
Fig. 1. Comparison of cooling fan housing shapes: a) current, b) proposed

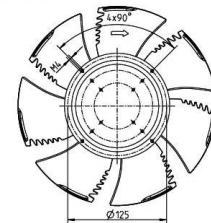
W celu zminimalizowania oporów przepływu powietrza przez układ rurowy zdecydowano się na zastosowanie sprawdzonych i stosowanych już wcześniej, z dużym sukcesem, przez Energo-Silesię rur aluminiowych dwustronnie żebrowanych. Charakteryzują się one większą wydajnością od rur tradycyjnych oraz bardzo dużą sztywnością. Zastosowanie tego typu rur powoduje zmniejszenie ich ilości w wymienniku o jeden rząd, w porównaniu do tradycyjnej konstrukcji zbudowanej na rurach bimetalowych

z ożebrowaniem aluminiowym przy tej samej mocy chłodniczej, a co się z tym wiąże zminimalizowanie oporów przepływu powietrza przez chłodnicę.

3. Ograniczanie hałasu chłodnic poprzez zastosowanie wentylatorów cichobieżnych

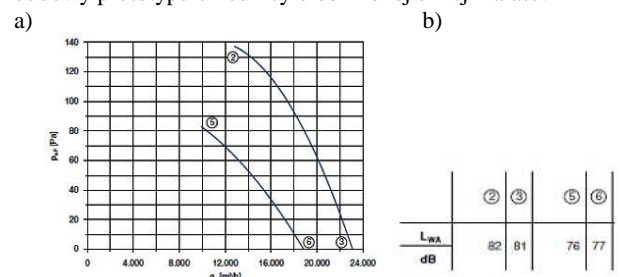
Zmiana konstrukcji chłodnicy oraz zmniejszenie oporów przepływu pozwoliły na zastosowanie w konstrukcji chłodnicy wentylatorów osiowych o obniżonym poziomie hałasu. Obecnie testowane są dwa typy wentylatorów: wentylator osiowy o budowie zbliżonej do budowy wentylatorów stosowanych obecnie przez firmę Energo-Silesia, ale z obniżoną prędkością obrotową oraz nowe wentylatory osiowe o aerodynamicznym profilu bionicznym produkowane przez niemiecką firmę Ziehl-Abegg. Wentylatory te w swojej budowie charakteryzują się łopatkami wentylatora

z grzebieniowym zakończeniem oraz lekko „sierpowatym” kształtem (rys. 2).



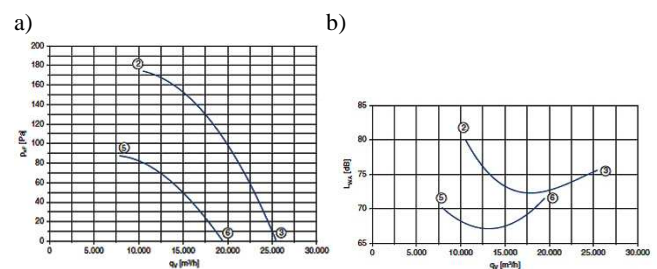
Rys. 2. Widok ogólny łopatek wentylatora niskoszumnego firmy Ziehl-Abegg [6]
Fig. 2. General view of the silent fan blades, company's Ziehl-Abegg [6]

Na rys. 3a przedstawiono charakterystykę spiętrzenia (sprężu) P_{aF} [Pa] w zależności wydajności q_v [m³/h] dla aktualnie stosowanych w kraju wentylatorów wykorzystywanych do budowy chłodnic wentylatorowych transformatorów elektroenergetycznych. Na rys. 3b podano także ich obecny poziom mocy akustycznej. Natomiast na rys. 4 przedstawiono charakterystykę i wartość poziomu mocy akustycznej dla wentylatora w wykonaniu cichobieżnym, który zostanie wykorzystany podczas budowy prototypu chłodnicy o obniżonej emisji hałasu.



Rys. 3. Przykładowe parametry techniczne aktualnie stosowanych w kraju wentylatorów chłodnic transformatorowych: a) charakterystyka zależności spiętrzenia od wydajności, b) moc akustyczna

Fig. 3. Examples of technical parameters currently used in the country of transformer cooling fans: a) the characteristics of accumulation depending on productivity, b) the acoustic power



Rys. 4. Przykładowe parametry techniczne cichobieżnych wentylatorów: a) charakterystyka zależności spiętrzenia od wydajności, b) moc akustyczna

Fig. 4. Sample specifications of the quiet fans: a) characteristics depending on the efficiency of accumulation, b) acoustic power

Ze wstępnymi próbami wynika, że wymiennione powyżej zabiegi przy tworzeniu nowej konstrukcji chłodnicy dają efekt w postaci obniżenia poziomu mocy akustycznej L_{WA} o 2-3 dB w porównaniu do poprzednich konstrukcji. Na tym etapie jest to wynik, który można uznać za satysfakcjonujący. Jest możliwe dalsze obniżenie poziomu hałasu ale wiązałoby się to ze zwiększeniem gabarytów chłodnicy celem zastosowania wentylatorów wolnoobrotowych o większej średnicy. Zwiększenie gabarytów chłodnicy powodowałoby konieczność rozgraniczenia układu chłodzenia z transformatorem jako odrębnego układu wolnostojącego. Takie rozwiązanie wymusza dodatkowe miejsce oraz konieczność budowania większej misy olejowej.

4. Koncepcja redukcji hałasu chłodnic oparta na regulacji prędkości obrotowej wentylatorów

Jednym ze sposobów walki z nadmiernym hałasem generowanym przez układ chłodzenia transformatora jest optymalizacja prędkości obrotowej wentylatorów. To właśnie wentylatory przede wszystkim odpowiadają za hałas powstający w trakcie pracy układu chłodzenia. Zmiana prędkości obrotowej może odbywać się na różne sposoby: silniki wielobiegunowe, regulację napięciową, regulację częstotliwościową. Każdy z tych sposobów regulacji wymaga innych algorytmów sterowania i diagnostyki. Układ sterowania musi tak dobierać wydajność wentylatorów, aby zapewnić optymalne chłodzenie przy jak najmniejszej dopuszczalnej prędkości. Opracowując koncepcję sterowania układu chłodzenia przy jednoczesnej redukcji hałasu położono szczególny nacisk na: niezawodność proponowanych rozwiązań, optymalne warunki chłodzenia transformatora.

Poszukując jak najlepszego rozwiązania sprzętowego zdecydowano się na sterowniki SIMATIC firmy Siemens. Są one jednymi z najpowszechniej stosowanych sterowników PLC, co jest ich atutem ponieważ zostały przetestowane w różnych bardzo skrajnych warunkach. Sterowniki te posiadają budowę modułową, więc można je dowolnie konfigurować pod konkretne potrzeby. Dzięki bardzo dużej liczbie aplikacji sprzęt i oprogramowanie jest łatwo dostępne. Energo-Silesia w swoich rozwiązaniach używa sterowników w wersji SIPLUS. Pozwalają one na pracę w rozszerzonym zakresie temperatur otoczenia (-25 do +70°C). Na rys. 1 przedstawiono widok ogólny sterownika typu SIMATIC ET 200 CPU, który jest obecnie preferowanym i najczęściej stosowanym podzespołem regulacyjnym układów chłodzenia transformatorów elektroenergetycznych.



Rys. 5. Widok ogólny sterownika SIMATIC ET 200 CPU
Fig. 5. Overall view of the controller SIMATIC ET 200 CPU

Dobrej klasy sprzęt to dopiero część sukcesu. Firma Energo-Silesia opracowała specjalny algorytm sterowania, który realizuje między innymi następujące założenia:

- priorytetem jest bezpieczeństwo transformatora, dlatego w sytuacjach awaryjnych sterownik przechodzi w tzw. stan bezpieczny dla transformatora;
- możliwość pracy redundantnej;

- diagnozowanie każdej z chłodnic indywidualnie, z uwzględnieniem bieżących warunków pracy;
- wyznaczanie temperatury najgorętszych punktów HOT-SPO;
- współpraca z panelem operatorskim i systemem SCADA;
- współpraca z aparaturą zainstalowaną na transformatorze (analizatory gazów, układ monitoringu stanu izolatorów, PPZ, itp.);
- możliwość wyboru różnych trybów pracy, w zależności od dostępnych sygnałów i woli użytkownika;
- regulacja ciągła prędkości obrotowej wentylatorów, pozwalająca ograniczyć poziom hałasu;
- sterowanie instalacją odzysku ciepła.

Proponowany sterownik układu chłodzenia spełnia powyższe założenia. Część funkcji jest dostępna opcjonalnie bądź przez wybór odpowiednich parametrów.

Całość układu chłodzenia jest tak konfigurowana aby w normalnych warunkach znamionowa moc cieplna była uzyskiwana przy niskiej prędkości obrotowej (redukcja hałasu). W sytuacjach awaryjnych gdy transformator jest przeciążony, bądź ulegają pogorszeniu warunki chłodzenia (np. znaczny wzrost temperatury otoczenia), sterownik potrafi zwiększyć prędkość obrotową wentylatorów. Odbywa się to oczywiście, kosztem większego hałasu, ale w takich sytuacjach priorytetem jest transformator. Wydajność cieplna pojedynczych chłodnic jest analizowana przez algorytm diagnostyczny, uwzględnia on między innymi: temperatury oleju, temperaturę otoczenia, prędkość obrotową wentylatorów itp. Pozwala to odpowiednio dobrać wykrzywe nieprawidłowości. Ten i inne algorytmy diagnostyczne zaimplementowane są w sterowniku.

W celu podniesienia niezawodności, jak już wspomniano, sterownik potrafi pracować w układzie redundantnym. Jednocześnie sterownik może odłączyć układ regulacji obrotów i przejść do sterowania klasycznego. Rozwiązanie takie tworzy również pewnego rodzaju redundancję, gdyż obok nowoczesnego rozwiązania z regulacją prędkości istnieje układ klasyczny z progowym załączaniem grup chłodzenia.

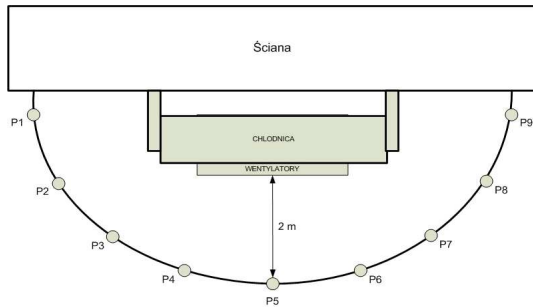
5. Weryfikacja pomiarowa skuteczności regulacji prędkości obrotowej wentylatorów na poziom skorygowanego ciśnienia akustycznego L_{pA}

Pomiary skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} wykonano podczas prób doświadczalnych z użyciem trójwentylatorowej chłodnicy olej – powietrze typu CHOPA-325, znajdującej się na stanowisku pomiarowym Energo-Silesia. Celem przeprowadzonych badań była techniczna weryfikacja emitowanego do otoczenia skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} w zależności od prędkości obrotowej wentylatorów wymuszonego przepływu powietrza. Podstawowe parametry techniczne mierzonego obiektu energetycznego zestawiono w tabeli 1.

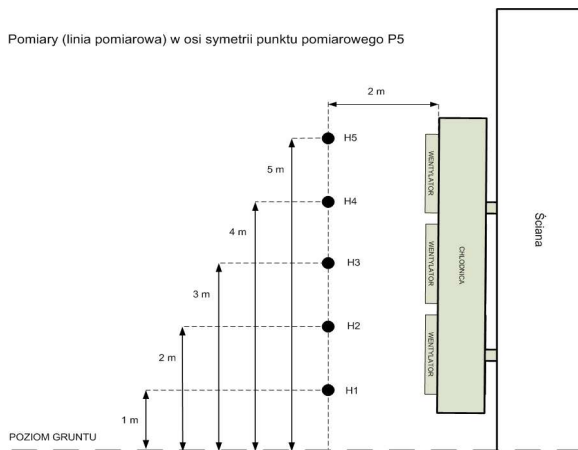
Tab. 1. Podstawowe parametry techniczne badanej chłodnicy
Tab. 1. Basic technical parameters of the cooling fans under study

Typ:	CHOPA-325
Moc [kW]:	325
Liczba wentylatorów [sztuk]:	3
Układ połączeń wentylatorów:	Y lub Δ
Masa całkowita [kg]:	1100

Poziom ciśnienia akustycznego L_{pA} chłodnicy typu CHOPA-325 mierzono w 9-ciu punktach pomiarowych (P1 – P9) usytuowanych wokół badanego urządzenia (rys. 6) oraz 5-ciu punktach pomiarowych (H1 – H5) usytuowanych w osi pozycji pomiarowej P5 – pomiary wykonane wzdłuż wysokości chłodnicy z gradacją 1m (rys. 7).



Rys. 6. Rozmieszczenie punktów pomiarowych P1 – P9 wokół chłodnicy
Fig. 6. Location of the measurement points P1 - P9 around the cooling fans



Rys. 7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych H1 – H5 wzdłuż wysokości badanej chłodnicy
Fig. 7. Location of the measurement points H1 - H5 along the height of the cooling fans under study

Poziom dźwięku badanego urządzenia mierzono w punktach P1 – P9 w odległości 2 m od głównej powierzchni promieniowania zdefiniowanej w normie PN-EN 60076-10 [5]. Podczas zmian prędkości obrotowej wentylatorów wymuszonego przepływu powietrza, pomiary wykonano dla odległości 2 m od głównej płaszczyzny promieniowania. Natomiast pomiary określające rozkład skorygowanego ciśnienia akustycznego L_{pA} względem wysokości badanej chłodnicy (punkty H1 – H5) wykonano dla dwóch prędkości obrotowych 750 obr/min i 923 obr/min (połączenie w gwiazdę i trójką silnika), w osi symetrii punktu pomiarowego P5.

Pomiary skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} wykonano miernikiem SVAN 945A, za pomocą którego możliwe jest wykonanie pomiarów poziomu dźwięku z dokładnością odpowiadającą klasie 1. Urządzenie to jest przeznaczone do wykonywania pomiarów poziomu dźwięku z dokładnością odpowiadającą klasie 1 oraz do analizy częstotliwościowej sygnałów akustycznych w paśmie 1 Hz - 20 kHz. Przed rozpoczęciem i po wykonaniu pomiarów wykonano kalibrację przyrządu pomiarowego za pomocą kalibratora akustycznego SONOPAN typu KA-50, zgodnie z normą [5]. W tabeli 2 zestawiono wyniki kalibracji wraz z współczynnikiem korygującym.

Tab. 2 Wartości współczynników korekcyjnych
Tab. 2 Values of the correction factors

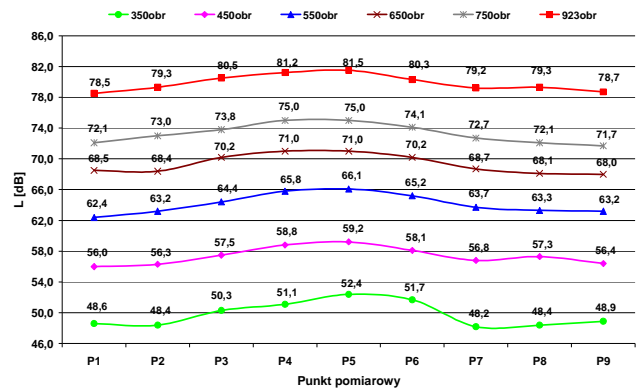
Lp.	Kalibracja na początku pomiarów	Współczynnik korekcyjny na początku pomiarów	Kalibracja na końcu pomiarów	Współczynnik korekcyjny na końcu Pomiarów
1.	93,5 dB	0,5 dB	93,4 dB	0,6 dB

Pomiary skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego tła L_{bgA} przeprowadzono dwukrotnie: na początku serii pomiarowej oraz na jej końcu. Zmierzone wartości skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego tła zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3 Wartości skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego tła
Tab. 3 The values of the corrected sound pressure level of background

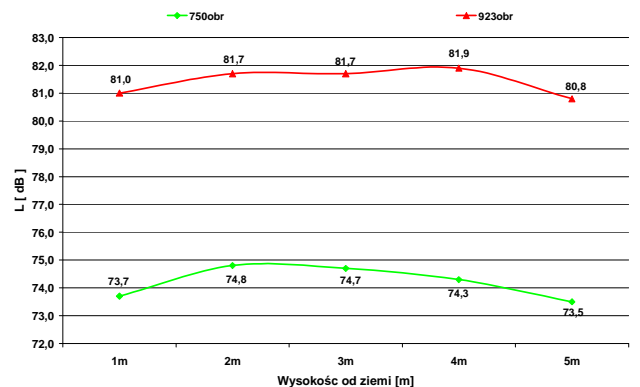
Lp.	L_{bgA} tła [dB] na początku pomiarów	L_{bgA} tła [dB] na końcu pomiarów
1.	39,1	40,2

Na rys. 8 i 9 przedstawiono w sposób graficzny uzyskane podczas pomiarów wartości skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} .



Rys. 8. Wyniki skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} chłodnicy w zależności od prędkości obrotowej wentylatorów wymuszonego przepływu powietrza

Fig. 8. The results of the corrected sound pressure level L_{pA} of the cooling depending on the fans speed forced air flow



Rys. 9. Wyniki skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} badanej chłodnicy w zależności od wysokości punktu pomiarowego względem osi symetrii chłodnicy (punktu P5)

Fig. 9. The results of the corrected sound pressure level L_{pA} of the cooling fans depending on the height of the measuring point relative to the axis of symmetry of the cooling (point P5)

6. Wnioski

Zwiększające się wymagania środowiskowe dotyczące dopuszczalnych poziomów ciśnienia akustycznego [3, 4] są przyczyną podjęcia szeroko zakrojonych prac naukowo-badawczych zmierzających do ograniczenia hałasu emitowanego do otoczenia przez urządzenia elektroenergetyczne. Jednym ze źródeł hałasu generowanego przez transformatory wysokiego napięcia jest układ chłodnic z wymuszonym obiegiem powietrza. Zaproponowane w artykule rozwiązania techniczne są podstawą do przeprowadzenia szczegółowych prac obejmujących m.in. zamodelowanie

zastosowania kształtów obrotowych wentylatorów i ich prędkości obrotowej w funkcji zmian temperatury oleju, potwierdziły słuszność przyjętej metodyki postępowania w tym zakresie. Zastosowanie tej technologii powinno pozwolić na zredukowanie skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pA} nawet o kilkanaście dB.

Zastosowanie wszystkich trzech sposobów redukcji hałasu (optymalizacja konstrukcji obudowy, zastosowanie cichobieżnych wentylatorów, sterowanie prędkością obrotową wentylatorów) przyczyni się do powstania opracowania urządzenia spełniającego oczekiwania Klientów, zarówno pod względem generowanego ciśnienia akustycznego, jak również wydajności cieplnej.

7. Literatura

[1] Borucki S., Boczar T., Cichoń A.: „Technical Possibilities of Reducing the Sound Pressure Level Emitted into the Environment by a Power Transformer”, Archives of Acoustics, Vol. 36, No. 1, 2011, pp. 49-56.

- [2] Borucki S., Boczar T., Cichoń A.: „Investigation of the acoustics pressure distribution occurring around an aerial substation adjacent to apartment buildings”, Quarterly Archive of Acoustics (Supplement), Vol. 32, No. 4, 2007, pp. 291 – 297.
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. Nr 178, poz.1841).
- [4] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62 poz. 627 z późn. zm.).
- [5] PN-EN 60076-10 – Transformatory, Część 10: Wyznaczanie poziomów dźwięku, Warszawa listopad 2003 r.
- [6] Ziehl-Abegg, Little Blue EC Catalogue 02/2011, Heinz-Ziehl-Straße 74653 Künzelsau, Germany 2011.

otrzymano / received: 00.00.0000

przyjęto do druku / accepted: 00.00.0000

artykuł recenzowany