

*układ wentylacyjny, maszyny synchroniczne,
maszyny prądu stałego, emisja hałasu,
ograniczanie hałasu*

Henryk BANACH*

MODERNIZACJA UKŁADU WENTYLACYJNEGO MASZYN ELEKTRYCZNYCH JAKO ŚRODEK DO OGRANICZANIA EMISJI HAŁASU

Zespoły maszynowe składające się z maszyny synchronicznej i maszyny prądu stałego pracujące przy prędkości 3000 obr/min. są źródłem uciążliwego hałasu przekraczającego 90 dB. Jego ograniczenie w istotny sposób wpływa na poprawę warunków pracy w laboratorium maszyn elektrycznych. Zmniejszenie emisji hałasu w maszynach synchronicznych udało się osiągnąć poprzez wymianę maszynowego wentylatora na lżejszy i skuteczniejszy w działaniu wentylator plastikowy. W rezultacie uzyskano również dodatkowo poprawę warunków chłodzenia i zmniejszenie tym samym przyrostów temperatury uzwojeń tych maszyn. W maszynach prądu stałego ograniczenie hałasu nastąpiło przez zmniejszenie średnicy istniejącego wentylatora aluminiowego. Nastąpiło przez to niewielkie pogorszenie chłodzenia tych maszyn ale nie stworzyło to niebezpieczeństwa przegrzania maszyn, gdyż ich moce znamionowe przekraczały dwu- bądź trzykrotnie maksymalne obciążenie. Poprzez przebudowę układów wentylacyjnych obu rodzajów maszyn nastąpiło zmniejszenie emisji hałasu w zależności od kierunku pomiaru od kilku do kilkunastu decybeli.

1. WSTĘP

W laboratoriach wielu krajowych uczelni technicznych na kierunku elektrotechnika znajdują się zespoły maszynowe przewidziane do badań maszyn synchronicznych. Zespoły te są często wyposażone w trójfazowe prądnice synchroniczne produkcji zakładów „Wamel”. Obciążeniem dla maszyny synchronicznej mogą być między innymi maszyny prądu stałego produkcji zakładów „Komel”. Praca takiego zespołu jest zazwyczaj źródłem uciążliwego hałasu przekraczającego wartość 90 dB. W laboratorium maszyn elektrycznych Katedry Napędów i Maszyn Elektrycznych Politechniki Lubelskiej znajdują się dwa takie zespoły. Jeden służy do badania prądnicy synchronicznej,

* Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38 A, 20-618 Lublin, h.banach@pollub.pl

drugi natomiast przeznaczony jest do badania pracy silnikowej maszyny synchronicznej.

Już praca jednego zespołu utrudniała kontakt werbalny ze studentami, a przy pracujących dwóch zespołach następowało bardzo szybkie znużenie i zmęczenie, zarówno studentów, a tym bardziej pracowników dydaktycznych. Przepisy określają, że dopuszczalny poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy nie powinien przekraczać 85 dB, natomiast w przypadku odniesienia do tygodnia pracy, poziom ekspozycji nie powinien przekraczać 80 dB [7, 8]. Obciążenie organizmu nadmiernym hałasem dekoncentruje i może negatywnie wpływać na poprawność wykonywania pomiarów przez studentów. Utrata kontroli nad pracą układu maszynowego może prowadzić do uszkodzenia aparatury pomiarowej, jak również niekorzystnie wpływać na bezpieczeństwo pracy z układem pod napięciem. Ponieważ pojawiły się zastrzeżenia ze strony służb BHP uczelni do istniejącego stanu, należało podjąć środki zaradcze mające na celu zmniejszenia emisji hałasu do poziomu pozwalającego na swobodne prowadzenie zajęć dydaktycznych w laboratorium. Postawiony cel został osiągnięty przez przebudowę układów wentylacyjnych maszyn elektrycznych. Wybranie takiego kierunku działań wyniknęło z faktu, że hałasy emitowane przez wentylatory szybkoobrotowych maszyn elektrycznych mają największy udział w generacji fal akustycznych.

2. BUDOWA ZESPOŁÓW MASZYNOWYCH

Pierwszy modernizowany zespół składał się z maszyny prądu stałego, która pracowała jako hamownica oraz maszyny synchronicznej pracującej jako silnik synchroniczny. Dane znamionowe obu maszyn przedstawiono poniżej.

Hamownica prądu stałego:

Typ PZMb 54b

$P_N = 7,5$ kW

$U_N = 220$ V

$I_N = 38,5$ A

$n_N = 2850$ obr/min.

Producent „Komet”

Maszyna synchroniczna:

Typ GB0d 22G

$P_N = 4$ kW

$U_N = 400$ V

$I_N = 7,2$ A

$n_S = 3000$ obr/min.

Producent „Wamel”

Na rysunku 1 przedstawiono widok drugiego zespołu maszynowego służącego do badania prądnicy synchronicznej GB0d 22G napędzanej silnikiem prądu stałego o poniższych danych.

Silnik prądu stałego:

Typ PCMb 54b

$P_N = 11$ kW

$U_N = 220$ V

$I_N = 57,2$ A

$n_N = 2850$ obr/min.

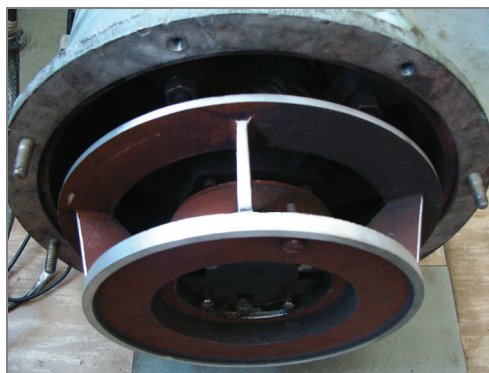
Producent „Komet”



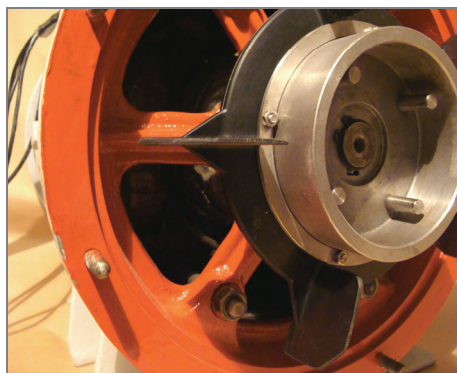
Rys. 1. Widok zespołu maszynowego złożonego z prądnicy synchronicznej i silnika prądu stałego
 Fig. 1. View of the machine set consisting of synchronous generator and DC motor

3. MODERNIZACJA UKŁADU WENTYLACYJNEGO MASZYN SYNCHRONICZNYCH

Wentylator maszyny synchronicznej był wentylatorem promieniowym, osadzonym na stalowej połówce sprzęgła, wykonanym z aluminium o bardzo solidnej konstrukcji i wynikającym stąd dużej masie. Widok wentylatora przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Widok wentylatora wraz z połówką sprzęgła przed modernizacją
 Fig. 2. View of the fan with a half of clutch before modernization



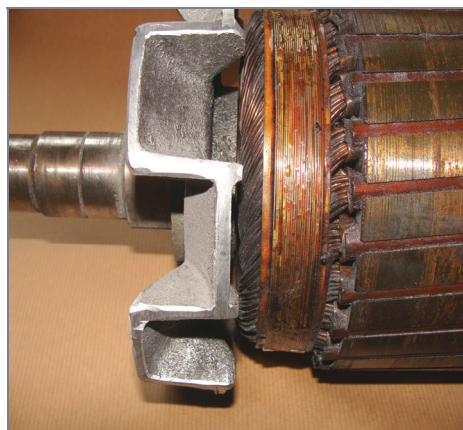
Rys. 3. Widok sprzęgła z osadzonym na nim wentylatorem z tworzywa sztucznego
 Fig. 3. View of the clutch with embedded on it the fan made of plastic

Konstrukcja wentylatora pozwalała na kierowanie strug powietrza prawie tylko w kierunku promieniowym, między innymi w stronę otworów umieszczonych w obudowie wentylatora, co doprowadzało do generacji hałasu o dużym natężeniu. Takie rozwiązanie stwarzało możliwość powstawania efektów syrenowych [3, 4].

Aby zapobiec generacji takich uciążliwych dla otoczenia dźwięków, zaszpaclowano wspomniane otwory w obudowie wentylatora, rys. 4. Po usunięciu wentylatora aluminiowego, wykonano nową połówkę sprzęgła i osadzono na niej wentylator wykonany z tworzywa sztucznego, rys. 3. Wynikiem tych zmian była znacząca poprawa warunków chłodzenia maszyny synchronicznej i istotne obniżenie poziomu emitowanego hałasu. Wymiana wentylatora pozwoliła na swobodniejszy przepływ powietrza w kierunku osiowym, co można stwierdzić po przeanalizowaniu rys. 3 i rys. 4.

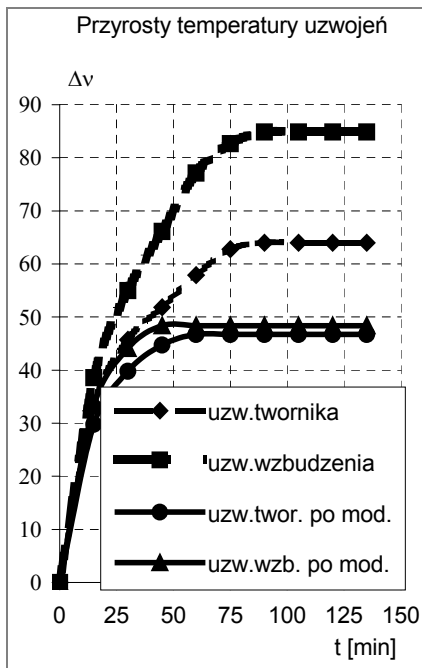


Rys. 4. Maszyna synchroniczna z widoczną obudową wentylatora
Fig. 4. Synchronous machine with a visible the fan case

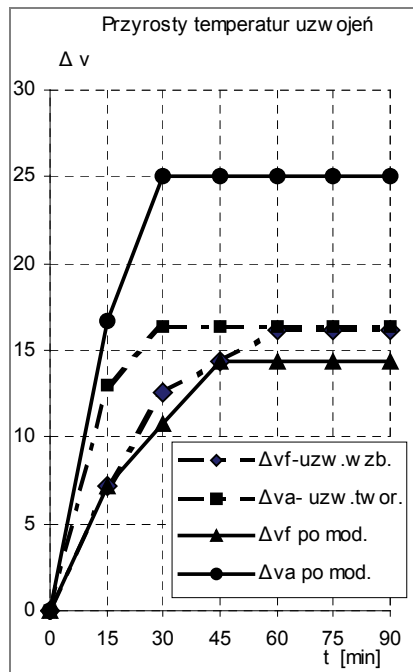


Rys. 5. Widok wirnika hamownicy otoczonym wentylatorem
Fig. 5. View of rotor with the lathed fan of the DC dynamometer machine

W celu potwierdzenia poprawy warunków chłodzenia, przeprowadzono próbę nagrzewania maszyny synchronicznej przy obciążeniu znamionowym prądem twornika. Maszyny nie obciążano hamownicą lecz przy biegu jałowym i zasilaniu napięciem znamionowym, wymuszono przepływ prądu biernego twornika przez zwiększenie prądu wzbudzenia. Ten sposób obciążenia zastosowano ze względu na fakt, że zespół maszynowy był zdemontowany. Czas naglił i należało jak najszybciej zweryfikować zastosowane rozwiązanie, a należało jeszcze przeprowadzić zmiany w układzie wentylacyjnym hamownicy prądu stałego. Wyniki z prób nagrzewania przedstawiono na rys. 6. Przyrosty temperatury uzwojenia twornika i uzwojenia wzbudzenia wyznaczono metodą oporową. Przyrosty temperatury uzwojenia wzbudzenia zmniejszono z 85 do 48 stopni, natomiast przyrosty temperatury uzwojenia twornika zmniejszono z 64 na 46 stopni. W prądnicy synchronicznej podobnie przebudowano układ wentylacyjny uzyskując praktycznie podobne zmniejszenie poziomu hałasu i poprawę chłodzenia.



Rys. 6. Przyrosty temperatury uzwojeń twornika i wzbudzenia silnika synchronicznego uzyskane podczas próby nagrzewania przed modernizacją i po modernizacji układu wentylacyjnego
 Fig. 6. The increment of temperature of the armature windings and the excitation windings of synchronous motor obtained during the test warm-up before and after the modernization of a fan



Rys. 7. Przyrosty temperatury uzwojeń twornika i wzbudzenia silnika prądu stałego uzyskane podczas próby nagrzewania przed modernizacją i po modernizacji układu wentylacyjnego
 Fig. 7. The increment of temperature of the armature windings and the excitation windings of DC motor obtained during the test warm-up before the and after the modernisation of a fan

4. PRZEBUDOWA UKŁADU WENTYLACYJNEGO MASZYN PRĄDU STAŁEGO

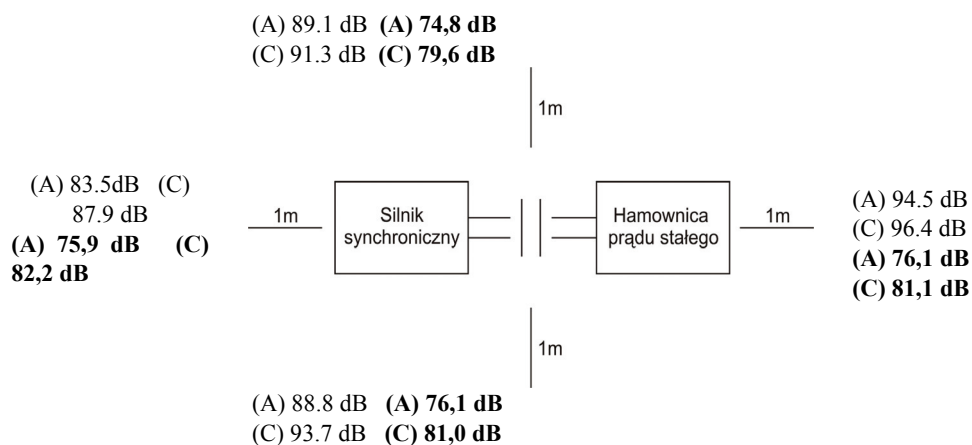
W przypadku maszyn prądu stałego wentylatory były osadzone na wale maszyny na gorąco, wobec czego ich demontaż był równoznaczny ze zniszczeniem. Zrezygnowano wobec tego z zastosowania wentylatora wykonanego z tworzywa sztucznego i dokonano zmniejszenia średnicy istniejącego wentylatora przez jego obtoczenie [1, 2]. Zmniejszono średnicę wentylatora prawie do średnicy wirnika maszyny, rys. 5. Uzyskano w ten sposób radykalne obniżenie emisji hałasu. Mankamentem takiego rozwiązania było pogorszenie warunków chłodzenia obu maszyn. Nie wpłynęło to drastycznie na ich nagrzewanie się, gdyż obie maszyny miały moce znamionowe

większe niż ich maksymalne obciążenie. W przypadku hamownicy współpracującej z silnikiem synchronicznym, moc maksymalnego obciążenia wynosi około 60% jej mocy znamionowej, natomiast w przypadku silnika napędzającego prądnicę synchroniczną, 33% mocy znamionowej. W celu zbadania skuteczności chłodzenia w nowych warunkach wykonano próbe nagrzewania przed i po przebudowie układu wentylacyjnego silnika napędowego. W tym przypadku silnik obciążony był przez prądnicę synchroniczną pracującą przy znamionowej mocy czynnej i znamionowym napięciu. Przyrosty temperatury uzwojenia wzbudzenia i uzwojenia twornika przedstawiono na rys. 7.

Zmniejszenie średnicy wentylatorów spowodowało istotną zmianę rozłożenia masy w wirnikach maszyn prądu stałego. Wobec tego koniecznym stało się ich wyważenie. Dokonano tego na wyważarce znajdującej się w Fabryce Łożysk Toczących w Kraśniku. Wyważeniu poddano również wirniki maszyn synchronicznych, chociaż w ich przypadku zmiana rozłożenia masy nie była aż tak zauważalna.

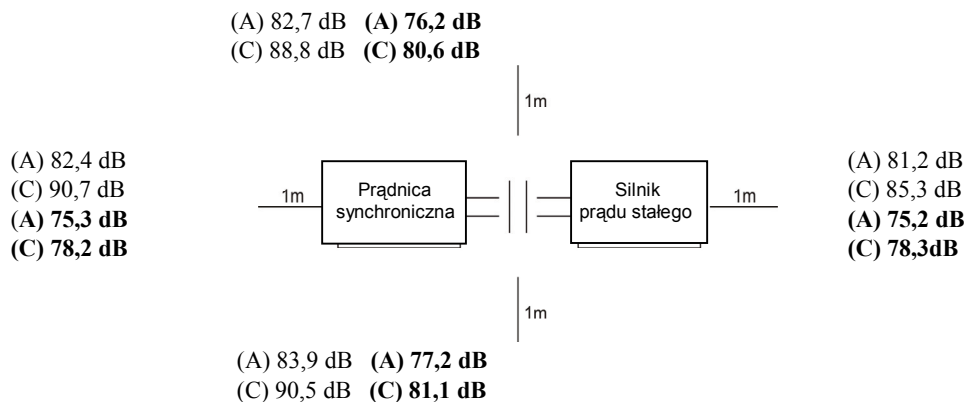
5. POMIARY EMISJI HAŁASU

Pomiarów hałasu dokonano przy pracującym zespole z użyciem miernika firmy ELBRO ELM-2152. Zachowano określoną przepisami odległość 1 m od wirujących maszyn. Hałas był mierzony na wysokości osi wałów zespołów [6]. Wyniki pomiarów hałasu przed i po modernizacji przedstawiono na rys. 8 i na rys. 9.



Rys. 8. Pomierzone wartości poziomego hałasu na poszczególnych kierunkach przed przebudową i po przebudowie układu wentylacyjnego (wartości opisane pogrubioną czcionką) zespołu silnik synchroniczny – hamownica prądu stałego

Fig. 8. Measured values of the noise level on various directions before modernization and after modernization of the ventilation system (described in bold) of the machine set: synchronous motor – DC dynamometer machine



Rys. 9. Pomierzone wartości poziomu hałasu na poszczególnych kierunkach przed i po przebudowie układu wentylacyjnego (wartości opisane pogrubioną czcionką) zespołu prądnica synchroniczna – silnik prądu stałego

Fig. 9. Measured values of the noise level on various directions before modernization and after modernization of the ventilation system (described in bold) of the machines set: synchronous generator – DC motor

Na rysunkach literą (A) oznaczono maksymalny poziom dźwięku pomierzony z zastosowaniem filtra korekcyjnego typu A, natomiast (C) określa szczytowy poziom dźwięku pomierzony z zastosowaniem filtra korekcyjnego typu C. Z analizy przedstawionych pomiarów wynika jednoznacznie, że nastąpiło radykalne zmniejszenie poziomu hałasu od kilku do kilkunastu decybeli w zależności od lokalizacji czujnika pomiarowego.

6. WNIOSKI

Przedstawione w artykule wyniki wskazują na możliwość ograniczenia emisji hałasu przez przebudowę układu wentylacyjnego maszyn elektrycznych. Oczywiście takie działania mogą być realizowane w warunkach laboratorium, w którym prowadzone są zajęcia ze studentami. Specyfika tych zajęć polega na tym, że badane zespoły maszynowe obciążane są dorywczo, a obciążenia mocą znamionową jest raczej krótkotrwałe. Nie stwarza to zagrożenia przegrzania uzwojeń maszyny w której ewentualnie nastąpiłoby pogorszenie warunków chłodzenia. W przypadku opisanych zespołów, pracujących przy prędkości $n = 3000$ obr/min. udało się osiągnąć założony cel, jakim było radykalne zmniejszenie emisji hałasu od kilku do kilkunastu decybeli w zależności od lokalizacji czujnika pomiarowego. Po przebudowie układów wentylacyjnych możliwym stało się werbalne porozumiewanie się ze studentami w obecności pracującego zespołu, bez nadużywania głosu. Poprawiły się zdecydowanie warunki pracy

w laboratorium. Dodatkowym, dość niespodziewanym efektem było znaczące zmniejszenie nagrzewania się uzwojenia wzbudzenia i uzwojenia twornika obu maszyn synchronicznych po wymianie wentylatorów. Spowodowane to zostało polepszeniem się wentylacji wnętrza maszyny synchronicznej przez ułatwienie przepływu powietrza w kierunku osiowym. W maszynach prądu stałego współpracujących z maszynami synchronicznymi nastąpiło pogorszenie chłodzenia uzwojenia twornika będące wynikiem zmniejszenia średnicy wentylatorów ale ze względu na fakt, że moc znamionowa tych maszyn była dwu- bądź trzykrotnie większa od maksymalnego obciążenia, nie stworzyło to niebezpieczeństwa przekroczenia dopuszczalnych przyrostów temperatury. Nagrzewanie się uzwojeń wzbudzenia tych maszyn praktycznie się nie zmieniło.

LITERATURA

- [1] DZIADOSZ S., *Modernizacja zespołu maszynowego: silnik synchroniczny – hamownica prądu stałego*, Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Lubelska 2010, opiekun pracy dr inż. H. Banach.
- [2] WÓJTOWICZ D., KOWALSKI M., *Modernizacja zespołu maszynowego: trójfazowa prądnica synchroniczna – silnik prądu stałego*, Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Lubelska 2011, opiekun pracy dr inż. H. Banach.
- [3] LATEK W., *Badanie maszyn elektrycznych w przemyśle*, WNT, Warszawa 1979.
- [4] DĄBROWSKI M., *Konstrukcja maszyn elektrycznych*, WNT, Warszawa 1977.
- [5] KORDECKI A., *Budowa maszyn prądu stałego*, WNT, Warszawa 1973.
- [6] PN-EN ISO 9612:2009: *Akustyka Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas- Metoda techniczna*.
- [7] PN-N-01307: *Hałas. Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów*.
- [8] PN-EN 1999:2000: *Akustyka – Wyznaczanie ekspozycji zawodowej na hałas i szacowanie uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem*.

MODERNIZATION OF THE VENTILATION SYSTEM OF THE ELECTRICAL MACHINES AS A MEANS TO REDUCE NOISE EMISSION

The article concerns how to reduce noise generated by the machine set: synchronous motor – D.C. dynamometer machine and synchronous generator – DC motor. These machine sets operate in the electrical machines laboratory of Lublin Technical University. The noise emission was very strong and it was a heavy burden on the human body. It was necessary to take action to reduce the noise emission. It was decided to rebuild the ventilation system of both machine set. As a result of these actions was dramatically improving of the cooling of the synchronous motor and significant reduction of noise generated by two machine sets. The average noise level was lowered from a few to several dB.