

Tadeusz Glinka, Artur Polak, Adam Decner  
BOBRME Komel, Katowice

## DEGRADACJA IZOLACJI UZWOJEŃ MASZYN ELEKTRYCZNYCH POD WPLYWEM CZASU ICH EKSPLOATACJI

### DEGRADATION OF WINDINGS INSULATION OF ELECTRICAL MACHINES CAUSED BY THE TIME OF EXPLOITATION

**Abstract:** Results of dc voltage diagnostic tests of electric machines' insulation (Fig.1) enable the evaluation of insulation's of degradation in accordance with established marking system. The paper presents marking system set from 5 to 1 – see Table 1. The relationship between marking system and characteristics/parameters of insulation system has been shown, basing on results of diagnostic tests of armature windings' insulation of dc generator rated at 4150 kW; 730 V; 500 rpm (Figs.2-6). Table 2 gives the marks for technical assessment of insulation of 20 machines tested in 2000 and 2005. If the marks for 2005 are higher than for 2000, then it means that the machines have been rewound.

#### 1. Wstęp

W artykule [1] zaproponowano punktową ocenę stanu technicznego izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych:

- 5 – izolacja bardzo dobra,
- 4 – izolacja dobra (posiada obniżone parametry odbudowy napięcia i rezystancji),
- 3 – izolacja dostateczna (małe parametry odbudowy napięcia, co oznacza znaczny stopień jej degradacji),
- 2 – izolacja mniej niż dostateczna (napięcie nie odbudowuje się po czasie zwarcia 1s., stopień zużycia izolacji jest duży),
- 1 – izolacja niedostateczna, występuje realne zagrożenie doziemienia uzwojenia w czasie pracy maszyny,
- 0 – trwałe uszkodzenie izolacji (doziemienie, zwarcie zwojowe), stan awaryjny izolacji 100%.

Powyższa ocena punktowa jest oparta na badaniach diagnostycznych izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych napięciem stałym [2].

W niniejszym artykule są zaprezentowane wyniki oceny izolacji uzwojeń 5 maszyn elektrycznych dużej mocy zainstalowanych i pracujących od roku 1974 w jednej z fabryk. Badania diagnostyczne izolacji tych maszyn przeprowadzono w roku 2005.

#### 2. Diagnostyka izolacji uzwojeń napięciem stałym

Metoda ta obejmuje trzy próby:

- wyznaczenie charakterystyki  $R_{60} = f(U)$ , o ile jest to możliwe w przedziale napięcia od zera do  $2U_N$ ,

- zarejestrowanie przebiegu czasowego prądu upływu  $i_p$  po skokowym załączeniu, na całkowicie rozładowany układ izolacyjny, napięcia stałego o wartości znamionowej  $U_o = U_N$  bądź wyższej,
- naładowanie układu izolacyjnego do napięcia  $U_o \geq U_N$  (do stanu ustalonego), następnie odłączenie napięcia zasilającego i zwarcie układu izolacyjnego na czas  $t_z$  po czym rozwarcie układu izolacyjnego i zarejestrowanie przebiegu odbudowy napięcia na układzie izolacyjnym  $U_{od}(t)$ .

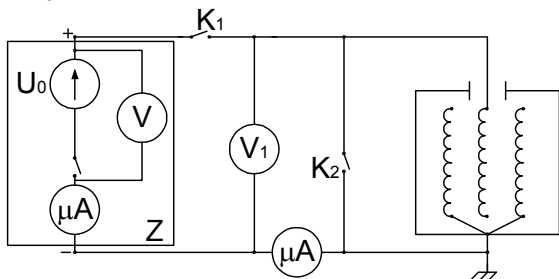
Pierwsze dwie próby są powszechnie stosowane w badaniach okresowych izolacji, gdyż są zalecane w instrukcjach eksploatacji maszyn elektrycznych. Jednak zakres tych prób ogranicza się zwykle do jednej wartości napięcia 2500 V, 1000 V bądź 500 V.

W polecany programie badań diagnostycznych rozszerza się zakres tych prób na wyznaczenie charakterystyki  $R_{60} = f(U)$  o ile jest to możliwe do  $2U_N$  i wyznaczenie  $i_p = f(t)$  przy  $U_N$ .

Próba trzecia została zaproponowana przez prof. T. Glinkę i znalazła uznanie w ośrodkach pomiaru i automatyki, zajmujących się diagnostyką maszyn elektrycznych w kopalniach. Dzięki ich poparciu została wpisana do Polskiej Normy PN-E-04700 z 1998 roku jako próba dodatkowa [3].

Badanie odbudowy napięcia (próba trzecia) jest próbą najważniejszą dla diagnostyki stanu technicznego izolacji i oceny stopnia jej zużycia.

Badania przeprowadza się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys.1. Podstawowym elementem tego układu jest zasilacz  $Z$  napięcia stałego o wartości regulowanej w przedziale od zera do  $2U_N$  mikroamperomierz i woltomierz elektrostatyczny oraz wyłączniki  $K_1$  i  $K_2$  pozwalające realizować poszczególne próby.



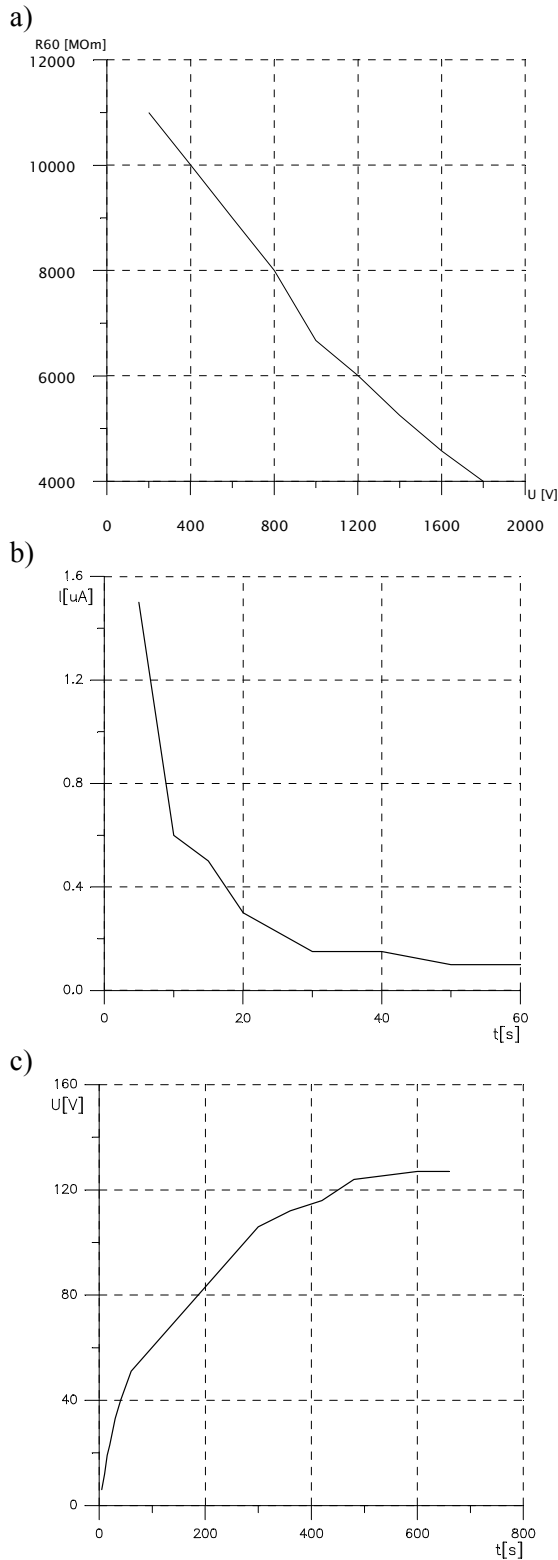
Rys.1. Schemat układu pomiarowego do diagnostyki stanu technicznego izolacji

W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznacza się następujące charakterystyki i parametry układu izolacyjnego:

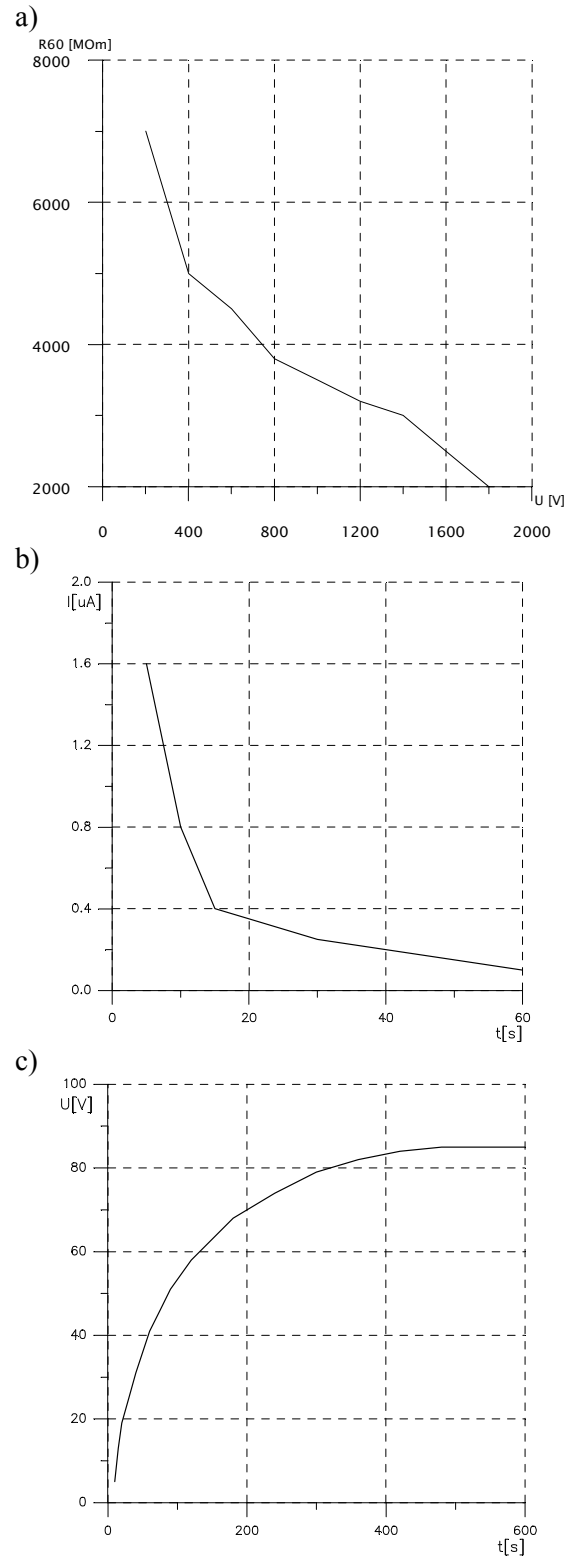
- wykres rezystancji izolacji  $R_{60} = f(U)$  w zakresie napięcia od 0 do  $2U_N$  z którego określa się rezystancję  $R_{60}$  przy  $U_N$ ,
- z ekstrapolacji krzywej  $R_{60} = f(U)$  szacuje się poziom napięcia przebicia  $U_p$  układu izolacyjnego,
- wykres odbudowy napięcia  $U_{od}(t)$  na układzie izolacyjnym, z którego odczytuje się czas odbudowy  $t_{od}$  i wartość maksymalną odbudowanego napięcia  $U_{odmax}$ ,
- współczynnik absorpcji układu izolacyjnego  $i_{p15}/i_{p60}$ ,
- poziom wahań prądu upływu  $i_{p60max}$  i  $i_{p60min}$  liczony po czasie  $t > 60s$  od chwili załączenia napięcia (tzn. dla stanu ustalonego).

Tabela 1. Kryteria oceny wyników badań

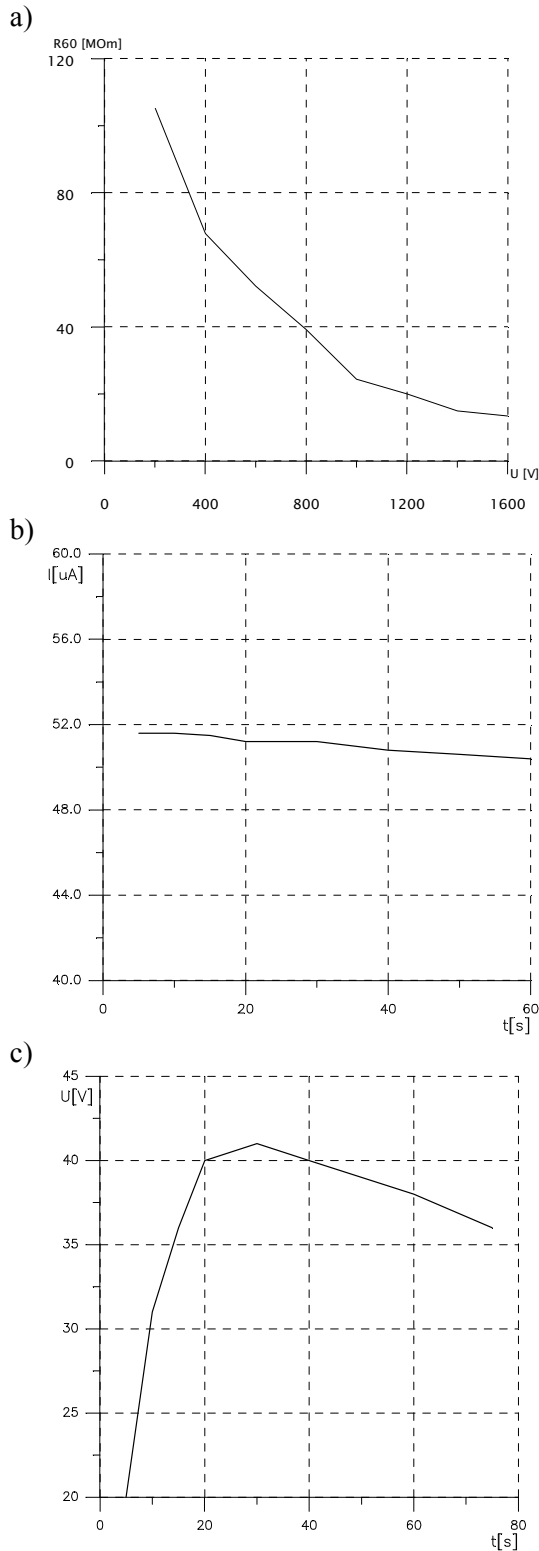
Lp	Parametr układu izolacyjnego		Ocena stanu technicznego izolacji					
			5	4	3	2	1	izolacja zawilgoconą
1	Napięcie przebicia $U_p/U_N$		>3	>3	>2	~1,5	~1	~1
2	Rezystancja	przy $U_N = 6kV$	>50	>20	>10	>10	>10	<3
	$R_{60N}/U_N$ [kΩ/V]	przy $U_N < 1kV$	>50	>20	>10	>3	>1	<1
3a	Czas zwarcia dla $t_z$ [s]	dla $U_N = 6kV$	30	30	30	1	1	0
		dla $U_N < 6kV$	10	10	10	1	0	0
3b	Maksymalna wartość odbudowanego napięcia $U_{odmax}/U_o$		>0,1	≥0,1	≥0,05	≥0,01	0	0
	Czas odbudowy napięcia $t_{od}$ [s]	dla $U_N = 6kV$	>240	>120	>30	~10	0	0
		dla $U_N < 1kV$	>120	>60	>15	~5	0	0
4	Wahania prądu upływu przy $U_N$ $\frac{i_{p60max} - i_{p60min}}{i_{p60sr}}$		<0,5	<1	>1	>1	>2	0
5	$i_{p15}/i_{p60}$	$U_N = 6kV$	>1,5	>1,2	>1	1	1	1
		$U_N < 1kV$	>1,3	>1,1	>1	1	1	1



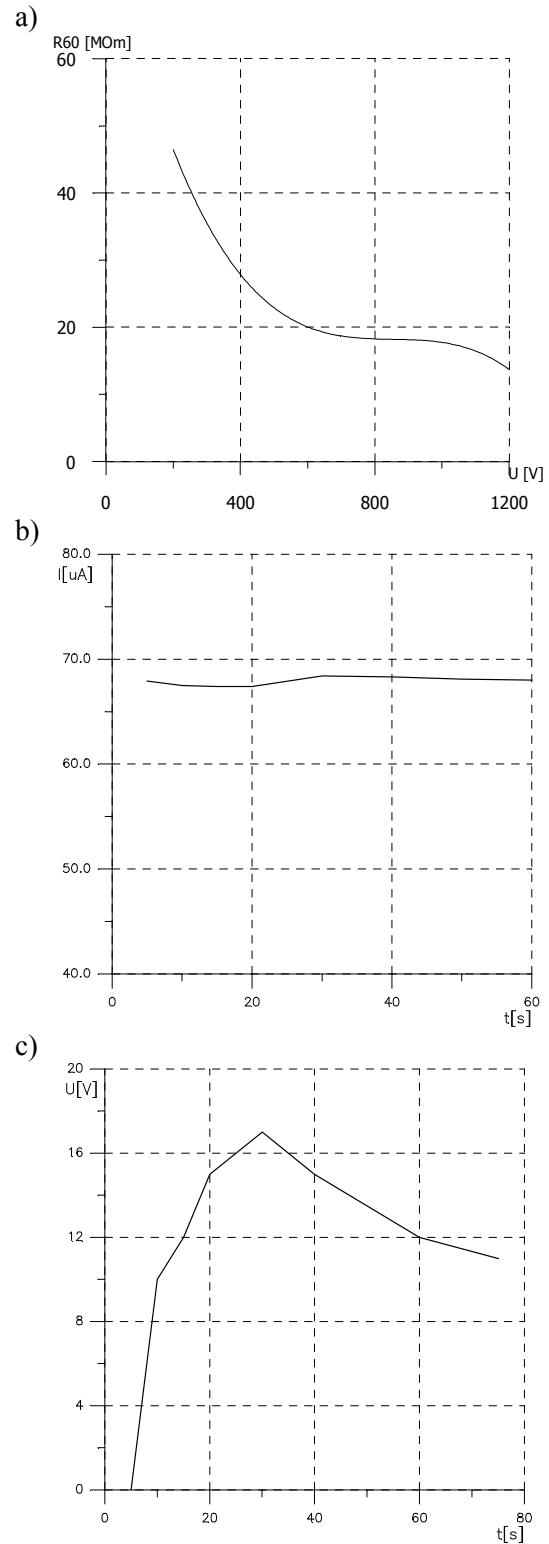
Rys.2. Silnik nr 29356. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „5” - twornik  
 a – wykres  $R_{60} = f(U)$ ,  $R_{60} = 6670 \text{ M}\Omega$  przy  $U=U_N$ , b – przebieg  $i_p = f(t)$  przy  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $i_{15}/i_{60}=5$ , c – przebieg  $U_{od} = f(t)$  przy:  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $t_z=30 \text{ s}$ . Parametry odbudowy napięcia:  $t_{od}=600 \text{ s}$ ;  $U_{odmax}=127 \text{ V}$



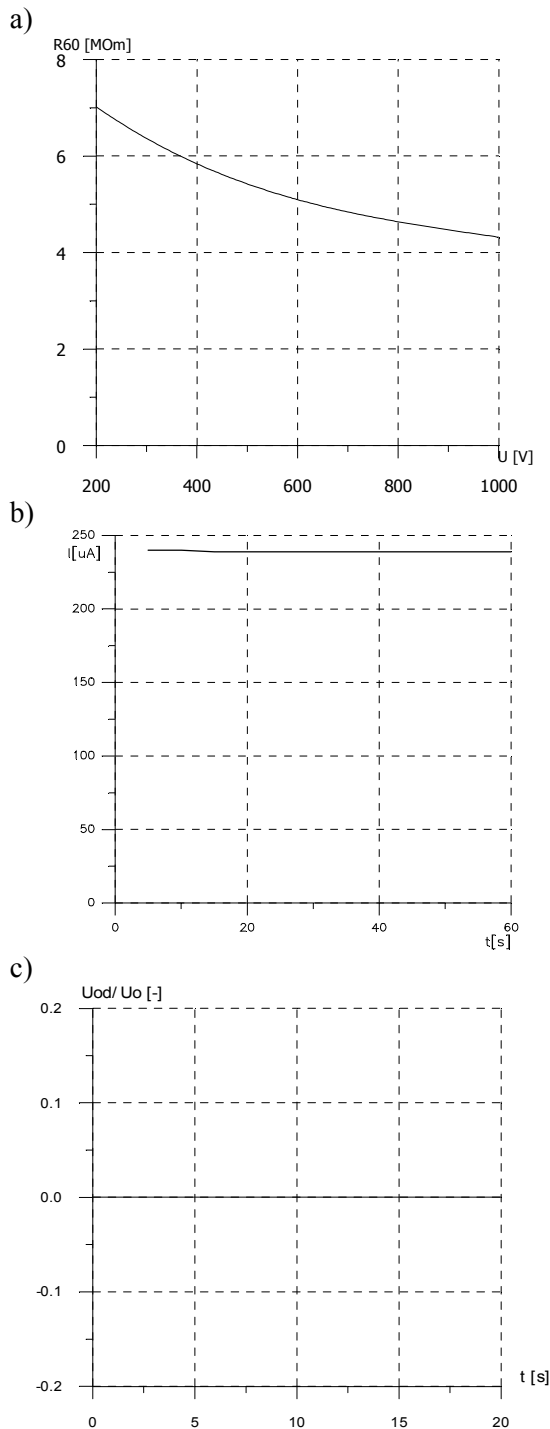
Rys.3. Silnik nr 432741. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „4” - twornik  
 a – wykres  $R_{60} = f(U)$ ,  $R_{60} = 3500 \text{ M}\Omega$  przy  $U=U_N$ , b – przebieg  $i_p = f(t)$  przy  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $i_{15}/i_{60}=4$ , c – przebieg  $U_{od} = f(t)$  przy:  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $t_z=30 \text{ s}$ . Parametry odbudowy napięcia:  $t_{od}=480 \text{ s}$ ;  $U_{odmax}=85 \text{ V}$ .



Rys.4. Silnik nr 29352. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „3” - stojan  
 a – wykres  $R_{60} = f(U)$ ,  $R_{60} = 24 \text{ M}\Omega$  przy  $U=U_N$ , b – przebieg  $i_p = f(t)$  przy  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $i_{15}/i_{60}=1.02$ , c – przebieg  $U_{od} = f(t)$  przy:  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $t_z=30 \text{ s}$ . Parametry odbudowy napięcia:  $t_{od}=30 \text{ s}$ ;  $U_{odmax}=41 \text{ V}$



Rys.5. Silnik nr 29352. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „2” - twornik  
 a – wykres  $R_{60} = f(U)$ ,  $R_{60} = 17 \text{ M}\Omega$  przy  $U=U_N$ , b – przebieg  $i_p = f(t)$  przy  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $i_{15}/i_{60}=1$ , c – przebieg  $U_{od} = f(t)$  przy:  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $t_z=30 \text{ s}$ . Parametry odbudowy napięcia:  $t_{od}<30 \text{ s}$ ;  $U_{odmax}=17 \text{ V}$ .



Rys.6. Silnik nr 29355. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „I” - twornik  
 a – wykres  $R_{60} = f(U)$ ,  $R_{60} = 4.3 \text{ M}\Omega$  przy  $U=U_N$ , b – przebieg  $i_p = f(t)$  przy  $U_o=1000 \text{ V}$ ,  $i_{15}/i_{60}=1$ , c – brak odbudowy napięcia, po wyłączeniu napięcia, napięcie na układzie izolacyjnym zanika w czasie  $t < 1 \text{ s}$

W tabeli 1 scharakteryzowano ocenę punktową stopnia degradacji izolacji w oparciu o wyznaczone parametry kryterialne. Ocena napięcia

przebiecia jest ważnym parametrem diagnostycznym. Napięcie przebiecia  $U_p \leq U_N$  może wystąpić w mocno zdegradowanej izolacji uzwojeń w maszynach prądu stałego. Stan taki autorzy wielokrotnie stwierdzili, także w maszynach, których wyniki są prezentowane w tym artykule, mimo to maszyny te pracują, narażone są jednak na wystąpienie doziemienia.

W oparciu o wartość rezystancji izolacji można ocenić czy izolacja nie jest zawilgocona, natomiast nie można, nawet w przybliżeniu, ocenić stopnia degradacji izolacji. Izolacja zużyta (ocena 1) może mieć rezystancję nawet kilkaset  $\text{k}\Omega/\text{V}$ . Natomiast izolację zawilgoconą trudno jest sklasyfikować, najpierw należy ją wysuszyć, a następnie wykonać pomiary diagnostyczne. Sam fakt, że jeśli maszyna stoi (np. miesiąc) w pomieszczeniu w miarę suchym, a izolacja wchłania wilgoć i rezystancja jej spada, świadczy, że stopień jej degradacji jest znaczny (ocena co najwyżej 3). Poszczególne stopnie charakteryzujące stan techniczny izolacji zostały porównane na rysunkach 2-6. Na rysunkach tych przedstawiono pomierzone charakterystyki układu izolacyjnego uzwojeń pięciu identycznych silników prądu stałego: 2000kW; 1000V. Układ izolacyjny każdego z tych silników ma inną ocenę punktową. Tak, więc wielkości kryterialne zaproponowane w tabeli 1 mają na rysunkach 2-6 ilustrację graficzną charakteryzującą stan techniczny izolacji uzwojeń maszyn rzeczywistych.

### 3. Wyniki badań diagnostycznych układu izolacyjnego maszyn wykonanych w 2005r

Przedmiotem badań diagnostycznych był ten sam typ silnika prądu stałego.

Na podstawie przeprowadzonych badań diagnostycznych w roku 2005 stan techniczny izolacji maszyn sklasyfikowano, a wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Stopień zużycia izolacji uzwojeń

nr fabr.	stan techniczny izolacji uzwojeń		
	twornik A1-A2	stojan B1-C2	F1-F2
29355	1	3	3
29356	5	4	4
29352	2	3	3
29354	4	4	4
432741	4	—	—

#### 4. Wnioski

Wyniki badań diagnostycznych izolacji uzwojeń napięciem stałym (rys.1) umożliwiają ocenę punktową stopnia jej degradacji. W artykule przedstawiono taką ocenę w skali od 5 do 1 – tabela 1. Na przykładzie wyników badań diagnostycznych izolacji uzwojeń twornika identycznych prądnic prądu stałego (2000 kW; 1000V) pokazano związek między oceną punktową, a charakterystykami i parametrami układu izolacyjnego (rys. 2-6).

W tabeli 2 zestawiono ocenę punktową stanu technicznego 5 maszyn badanych w roku 2005.

#### Literatura

- [1]. Glinka T.: Klasyfikacja stopnia zużycia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych. Przegląd Elektrotechniczny PL ISSN 0033-2097 Nr.9/2004, s. 852 – 855.
- [2]. Glinka T.: Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle. Wyd. BOBRME Komel w Katowicach ISBN 83-910585-4-9, 2002r.
- [3]. PN-98/E-04700. Urządzenia i układy elektryczne. Wytyczne przeprowadzenia pomontażowych badań odbiorczych.

#### Autorzy

mgr inż. Adam Decner – specjalista pomiarowiec; BOBRME Komel, 41-209 Sosnowiec, ul. Moniuszki 29; tel. (032) 299-93-81 wew.22; e-mail: labor@komel.katowice.pl

dr inż. Artur Polak – kierownik laboratorium; BOBRME Komel, 41-209 Sosnowiec, ul. Moniuszki 29; tel. (032) 299-93-81 wew.21; e-mail: labor@komel.katowice.pl

prof. dr hab inż. Tadeusz Glinka – pełnomocnik ds. naukowych; BOBRME Komel, 40-203 Katowice, ul. Roździeńskiego 188; tel. (032) 258-20-41; e-mail: info@komel.katowice.pl