



PRZEPISY
PUBLIKACJA 42/P

PRÓBY WIRUJĄCYCH MASZYN ELEKTRYCZNYCH

styczeń
2022

Publikacje P (Przepisowe) wydawane przez Polski Rejestr Statków są uzupełnieniem lub rozszerzeniem Przepisów i stanowią wymagania obowiązujące tam, gdzie mają zastosowanie.

GDAŃSK

Publikacja 42/P – Próby wirujących maszyn elektrycznych – styczeń 2022, której podstawą są Ujednolicone Wymagania (UR) E13 wydane przez IACS, stanowi rozszerzenie wymagań Części VIII – Instalacje elektryczne i systemy sterowania, Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich oraz wszystkich innych Przepisów, w których jest przywołana.

Publikacja ta została zatwierdzona przez Zarząd PRS S.A. w dniu 14 grudnia 2021 r. i wchodzi w życie z dniem 1 stycznia 2022 r.

© Copyright by Polski Rejestr Statków S.A., 2022

PRS/RP, 01/2022

SPIS TREŚCI

	Str.
1 Postanowienia ogólne	5
2 Materiały do budowy wału maszyny	5
3 Próby	5
4 Opis prób	6
4.1 Sprawdzenie dokumentacji technicznej i oględziny	6
4.2 Pomiar rezystancji izolacji	6
4.3 Pomiar rezystancji uzwojeń	6
4.4 Sprawdzenie układu regulacji napięcia	6
4.5 Próba obciążenia znamionowego oraz pomiary przyrostu temperatury.....	7
4.6 Próba przeciążenia / przetężenia	9
4.7 Próba zwarcia.....	9
4.8 Próba zwiększonej prędkości obrotowej (nadobroty)	10
4.9 Próba wytrzymałości elektrycznej izolacji.....	10
4.10 Próba biegu jałowego.....	11
4.11 Sprawdzenie stopnia ochrony	11
4.12 Sprawdzenie łożysk	11

1 POSTANOWIENIA OGÓLNE

Wszystkie maszyny elektryczne urządzeń ważnych powinny posiadać atesty producenta potwierdzające spełnienie wymagań podanych w rozdziale 3 niniejszej *Publikacji*. Atesty te powinny być przedstawione inspektorowi PRS.

Próby i, gdy jest to konieczne, produkcja silników o mocy 50 kW i większej lub prądnic o mocy 50 kVA i większej, przeznaczonych dla urządzeń ważnych, wymienionych w punkcie 1.3.2.1 z *Części VIII – Instalacje elektryczne i systemy sterowania, Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich* powinny być nadzorowane przez inspektora PRS.

2 MATERIAŁY DO BUDOWY WAŁU MASZYNY

Materiały użyte do budowy wału maszyn powinny być zgodne z wymaganiami odpowiednich norm. Materiały do budowy wału maszyn napędu głównego i prądnic powinny być zgodne z wymaganiami *Przepisów PRS* i posiadać certyfikat instytucji klasyfikacyjnej uznanej przez UE.

3 PRÓBY

Próbowi typowi podlega maszyna prototypowa lub pierwsza z wyprodukowanej partii maszyn, zaś próby wyrobu powinny być przeprowadzane na kolejnych maszynach poszczególnych typów, zgodnie z tabelą 3.

Dla prądnic wałowych, maszyn o specjalnych zastosowaniach oraz maszyn o nowoczesnej konstrukcji wymagania stawiane próbowi mogą się różnić od podanych.

Tabela 3

L.p.	Punkt w Publikacji	Próby	Prądnice prądu przemiennego		Silniki	
			Próba typu ¹⁾	Próba wyrobu ²⁾	Próba typu ¹⁾	Próba wyrobu ²⁾
1	2	3	4	5	6	7
1.	4.1	Sprawdzenie dokumentacji technicznej i oględziny	X	X	X	X
2.	4.2	Pomiar rezystancji izolacji	X	X	X	X
3.	4.3	Pomiar rezystancji uzwojeń	X	X	X	X
4.	4.4	Sprawdzenie układu regulacji napięcia	X	X ³⁾	–	–
5.	4.5	Próba obciążenia znamionowego i pomiary przyrostu temperatury	X	–	X	–
6.	4.6	Próba przeciążenia / przetężenia	X	X ⁴⁾	X	X ⁴⁾
7.	4.7	Próba zwarcia ⁵⁾	X	–	–	–
8.	4.8	Próba zwiększonej prędkości obrotowej (nadobrot)	X	X	X ⁶⁾	X ⁶⁾
9.	4.9	Próba wytrzymałości elektrycznej izolacji	X	X	X	X
10.	4.10	Próba biegu jałowego	X	X	X	X
11.	4.11	Sprawdzenie stopnia ochrony	X	–	X	–
12.	4.12	Sprawdzenie łożysk	X	X	X	X

¹⁾ Próby typu na maszynie prototypowej lub na przynajmniej pierwszej z partii maszyn.

²⁾ Raport z prób wyrobu powinien zawierać numer seryjny maszyny, która była poddana próbowi typu oraz wyniki prób.

- 3) Tylko próba funkcjonalna układu regulacji napięcia.
- 4) Dotyczy tylko maszyn urządzeń ważnych o mocy 100kW lub większej.
- 5) Wymagana tylko dla prądnic synchronicznych.
- 6) Nie dotyczy silników klatkowych.

4 OPIS PRÓB

4.1 Sprawdzenie dokumentacji technicznej i oględziny

4.1.1 Sprawdzenie dokumentacji technicznej

Dokumentacja techniczna maszyn o mocy 50 kW /kVA/ i wyższej, zatwierdzona przez PRS, powinna być przedstawiona inspektorowi PRS.

4.1.2 Oględziny

Inspektor PRS dokonuje oględzin maszyny elektrycznej w celu stwierdzenia jej zgodności z dokumentacją techniczną.

4.2 Pomiar rezystancji izolacji

Bezpośrednio po próbach wysokiego napięcia należy zmierzyć rezystancję izolacji przy użyciu przyrządu prądu stałego do pomiaru rezystancji pomiędzy:

- a) połączonymi wspólnie wszystkimi częściami przewodzącymi prąd i ziemią,
- b) wszystkimi częściami przewodzącymi prąd o różnych biegunach lub fazach, gdy oba końce każdego bieguna lub fazy są dostępne.

W tabeli 4.2 podano minimalne wartości napięcia probierczego oraz rezystancji izolacji. Temperatura przy której wykonuje się pomiar rezystancji izolacji powinna być zbliżona do temperatury pracy. Można też zastosować odpowiednią metodę obliczeniową.

Tabela 4.2

Napięcie znamionowe U_n (V)	Minimalne napięcie probiercze (V)	Minimalna rezystancja izolacji – wynik próby (MΩ)
$U_n \leq 250$	$2 \times U_n$	1
$250 < U_n \leq 1000$	500	1
$1000 < U_n \leq 7200$	1000	$(U_n/1000) + 1$
$7200 < U_n \leq 15\ 000$	5000	$(U_n/1000) + 1$

4.3 Pomiar rezystancji uzwojeń

Rezystancja uzwojeń maszyny powinna być mierzona i rejestrowana przy zastosowaniu właściwej metody mostkowej lub metody pomiarów napięć i prądów.

4.4 Sprawdzenie układu regulacji napięcia

Prądnicą prądu przemiennego wraz z jej układem regulacji napięcia powinna zapewnić utrzymanie napięcia znamionowego przy znamionowym współczynniku mocy w stabilnych warunkach w zakresie +/-2.5% dla każdego poziomu obciążenia, od biegu jałowego do pełnego obciążenia. Ten zakres może być zwiększony do +/-3.5% dla prądnic awaryjnych.

Gdy prądnicą napędzana ze znamionową prędkością wytwarza znamionowe napięcie i poddana zostanie naglej zmianie symetrycznego obciążenia w zakresie określonego prądu i współczynnika mocy, to napięcie powinno zawierać się w przedziale od 85% do 120% napięcia znamionowego.

Napięcie prądnicy powinno następnie zostać przywrócone do wartości $\pm 3\%$ napięcia znamionowego dla podstawowego zespołu prądotwórczego w czasie nie dłuższym niż 1,5 sekundy. Dla zespołów awaryjnych wartości te mogą być zwiększone odpowiednio do $\pm 4\%$ i 5 sekund.

W przypadku braku dokładnych informacji dotyczących maksymalnych wartości załączanego nagłego obciążenia, można przyjąć następujące warunki próby: pracującą na biegu jałowym prądnicę obciążyć nagle prądem o wartości 60% prądu znamionowego przy współczynniku mocy obciążenia indukcyjnego o wartości od 0,4 do 0 i po osiągnięciu przez prądnicę warunków pracy w stanie ustalonym obciążenie wyłączyć.

PRS może rozważyć możliwość akceptacji obliczeń regulacji napięcia podczas warunków przejściowych na podstawie zapisów z poprzednich prób typu, wówczas próba u producenta nie jest wymagana.

4.5 Próba obciążenia znamionowego oraz pomiary przyrostu temperatury

Przyrosty temperatury należy mierzyć przy znamionowych wartościach wytwarzanej mocy, napięcia i częstotliwości oraz przy takim rodzaju pracy, na który maszyna została określona i oznaczona, zgodnie z metodami podanymi w Publikacji IEC 60034-1:2017. Należy zastosować jedną z trzech metod:

- metoda rezystancyjna (temperaturę uzwojeń wyznacza się na podstawie wzrostu rezystancji uzwojeń maszyny);
- metoda wbudowanych czujników temperatury (co najmniej sześć czujników odpowiednio rozmieszczonych na całej powierzchni uzwojeń maszyny);
- metoda pomiaru termometrem (termometry doprowadzone do dostępnych powierzchni oraz końców uzwojeń maszyny).

Ostatnia z w/w metod jest dozwolona tylko wtedy, jeżeli dwie poprzednie nie mogą być zastosowane.

Dla maszyn zaprojektowanych na rodzaj pracy S1 (praca ciągła) próba powinna trwać do momentu osiągnięcia równowagi termicznej, tzn. gdy temperatura ulega zmianie o nie więcej niż 2°C w czasie 1 godziny. Dla pozostałych rodzajów pracy równowaga termiczna osiągnięta jest wówczas, gdy różnica temperatur pomiędzy odpowiednimi punktami kolejnych cykli pracy maszyny, na wykresie zmiany temperatury, jest mniejsza niż 2°C na godzinę.

Dopuszczalne przyrosty temperatury maszyn elektrycznych przy temperaturze otoczenia +45°C (wykonanie morskie) podano w tabeli 4.5. Jeżeli temperatura czynnika chłodzącego jest niższa od założonej powyżej wartości, przyrosty temperatury mogą być odpowiednio zwiększone, nie więcej jednak niż o 10°C. Jeżeli temperatura czynnika chłodzącego jest wyższa od założonej powyżej wartości, przyrosty temperatury należy odpowiednio zmniejszyć.

Tabela 4.5

Lp.	Części maszyn elektrycznych	Klasa izolacji														
		A			E			B			F			H		
		Pomiar temperatury, [°C], metodą:														
		termometrową	oporową	wbudowanych czujników	termometrową	oporową	wbudowanych czujników	termometrową	oporową	wbudowanych czujników	termometrową	oporową	wbudowanych czujników	termometrową	oporową	wbudowanych czujników
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Uzwojenia prądu przemiennego maszyn synchronicznych i asynchronicznych i o mocy 5000 kVA i większej lub o długości czynnego żelaza 1 m i większej	–	55	55	–	65	65	–	75	75	–	95	95	–	120	120
2	Uzwojenia maszyn prądu przemiennego o mocy mniejszej niż 5000 kVA i długości czynnego żelaza mniejszej od 1 m. Uzwojenia wzbudzenia maszyn prądu stałego i przemiennego zasilane prądem stałym, z wyjątkiem wymienionych w lp. 3, 4, 5. Uzwojenia tworników połączone z komutatorem	45	55	–	60	70	–	65	75	–	80	95	–	100	120	–
3	Uzwojenia wzbudzenia maszyn z utajonymi biegunami zasilane prądem stałym	–	60	–	–	75	–	–	85	–	–	105	–	–	120	–
4	Jednowarstwowe uzwojenia wzbudzenia z nieosłoniętymi powierzchniami	60	60	–	75	75	–	85	85	–	105	105	–	130	130	–
5	Uzwojenia wzbudzające wielowarstwowe o małej oporności i uzwojenia kompensacyjne	55	55	–	70	70	–	75	75	–	95	95	–	120	120	–
6	Uzwojenia zwarte izolowane	55	–	–	70	–	–	75	–	–	95	–	–	120	–	–
7	Uzwojenia zwarte nieizolowane	Przyrosty temperatury tych części nie powinny osiągać wartości zagrażających uszkodzeniem izolacji lub innych przyległych materiałów														
8	Rdzenie stalowe i inne części nie stykające się z uzwojeniami															
9	Rdzenie stalowe i inne części stykające się z uzwojeniami	55	–	–	70	–	–	75	–	–	95	–	–	120	–	–
10	Komutatory i pierścienie ślizgowe zamknięte i otwarte	55	–	–	65	–	–	75	–	–	85	–	–	95	–	–

4.6 Próba przeciążenia / przetężenia

Próbie przeciążenia należy przeprowadzić jako próbę typu i zależnie od rodzaju maszyny:

- prądnice: należy wykazać odporność na przeciążenie. Prądnice powinny mieć taką konstrukcję, aby po nagraniu do temperatury ustalonej, odpowiadającej obciążeniu znamionowemu, mogły wytrzymać przeciążenie prądem o wartości podanej w tabeli 4.6.

Tabela 4.6

Lp.	Rodzaj prądnicy	Przeciążenie prądem [%]	Czas trwania przeciążenia [s]
1	Prądu przemiennego	50	120
2	Prądu stałego	50	15

- wielofazowe silniki indukcyjne oraz silniki prądu stałego: należy wykazać, że w czasie 15 sekund maszyna wytrzyma bez utyku i nagłej zmiany prędkości nadmiar momentu obrotowego co najmniej 60%. Napięcie i częstotliwość w czasie próby powinny posiadać wartości znamionowe;
- silniki klatkowe indukcyjne o obniżonym prądzie rozruchowym – poniżej 4,5 razy prąd znamionowy: wartość nadmiaru momentu obrotowego może być mniejsza niż określono powyżej, lecz nie może wynosić mniej niż 50%;
- wielofazowe silniki synchroniczne: należy wykazać, że w czasie 15 sekund maszyna wytrzyma bez wypadnięcia z synchronizmu:
 - silnik synchroniczny indukcyjny (wirnik uzwojony): 35 % nadmiaru momentu obrotowego,
 - silnik synchroniczny (wirnik cylindryczny): 35 % nadmiaru momentu obrotowego,
 - silnik synchroniczny (biegun wydatny): 50 % nadmiaru momentu obrotowego.

Chwilowy nadmiar momentu obrotowego dla silników jednofazowych, komutatorowych i pozostałych typów powinien zostać uzgodniony z producentem.

Próba przeciążenia wykonywana jako próba wyrobu może zostać zastąpiona przez próbę przetężenia. Ma ona potwierdzić wytrzymałość prądową uzwojeń, przewodów, połączeń, itp. maszyny. Próba przetężenia może zostać przeprowadzona przy obniżonej prędkości (silniki) lub w stanie zwarcia (prądnice).

Dodatkowe informacje: Publikacja IEC 60034-1:2017.

4.7 Próba zwarcia

Należy sprawdzić, czy w warunkach stanu ustalonego zwarcia, prądnica wraz ze swym układem regulacji napięcia jest zdolna do utrzymywania bez wystąpienia jakiegokolwiek uszkodzenia co najmniej 3-krotną wartość prądu znamionowego przez okres 2 sekund lub, jeżeli dokładne dane są dostępne, przez okres zwłoki, która będzie nastawiona (zawierać się) w urządzeniu wyzwalającym, zapewniającym możliwość dobrania nastawy.

Odpowiedzialny za określenie nastaw w układzie rozdzielczym, do którego będzie podłączona prądnica, powinien otrzymać wymagane informacje od jej producenta dotyczące przebiegu prądu zwarcia w stanie przejściowym spowodowanym nagłym zwarcie w stanie wzbudzenia prądnicy przy obrotach nominalnych. Należy wziąć pod uwagę oddziaływanie układu automatycznej regulacji napięcia i zanotować jego ustawienia razem z charakterystyką. Charakterystyka układu automatycznej regulacji napięcia powinna być wzięta pod uwagę przy obliczaniu zabezpieczenia zwarciego. Nie musi być ona fizycznie sprawdzana lecz może bazować na krzywej uzyskanej w czasie wcześniejszych prób typu przeprowadzonych na tym samym modelu.

4.8 Próba zwiększonej prędkości obrotowej (nadobroty)

Maszyny elektryczne powinny bez uszkodzeń i trwałych odkształceń w ciągu 2 minut wytrzymać próbę zwiększonej prędkości obrotowej, przeprowadzoną zgodnie z następującymi wymaganiami:

- a) prądnice, przetwornice maszynowe – 120% znamionowej prędkości obrotowej,
- b) silniki szeregowe – 120% największej dopuszczalnej prędkości obrotowej wymienionej na tabliczce znamionowej, lecz nie mniej niż 150% znamionowej prędkości obrotowej,
- c) wszystkie pozostałe silniki (inne niż powyżej) – 120% największej prędkości obrotowej przy biegu jałowym.

Próba nie dotyczy silników klatkowych.

4.9 Próba wytrzymałości elektrycznej izolacji

Izolacja uzwojeń maszyn elektrycznych powinna wytrzymać w ciągu 1 minuty, bez przebiccia i przeskoaku iskrowego, napięcie probiercze przemienne, praktycznie sinusoidalne, o częstotliwości 50 Hz i o wartości skutecznej podanej w tabeli 4.9. Napięcie to należy przyłożyć pomiędzy uzwojenia poddane próbie a korpus maszyny. Rdzeń i uzwojenia nie poddane próbie należy połączyć z korpusem.

Tabela 4.9

Lp.	Części maszyny elektrycznej		Wartość skuteczna napięcia probierczego U_p , [V]
1	2		3
1	Części izolowane maszyn o mocach:	mnijszych niż 1 kW (kVA)	$2 U_n + 500$ V
		od 1 kW (kVA) do 10 000 kW (kVA)	$2 U_n + 1000$ V, lecz nie mniej niż 1500V
2	Uzwojenia wzbudzające maszyn prądu stałego zasilane z obcego źródła		$2 U_w + 1000$ V, lecz nie mniej niż 1500V
3	Uzwojenie wzbudzające prądnic synchronicznych		$10 U_w$, lecz nie mniej niż 1500 V i nie więcej niż 3500V
4	Uzwojenie wzbudzające silników synchronicznych jeżeli:	rozruch odbywa się przy uzwojeniu wzbudzającym zwartym lub przyłączonym bezpośrednio do wirnika albo przy nieobciążonym uzwojeniu prądu przemiennego	$2 U_w + 1000$ V, lecz nie mniej niż 1500V
		rozruch odbywa się bądź przy uzwojeniu wzbudzającym zwartym przez szeregowo włączaną oporność, bądź przy rozwartym obwodzie wzbudzenia – niezależnie od tego, czy obwód wzbudzenia składa się z oddzielnych gałęzi czy też nie	$2 U_m + 1000$ V, lecz nie mniej niż 1500V

1	2		3
5	Uzwojenia wirników silników indukcyjnych pierścieniowych lub indukcyjnych synchronizowanych, jeżeli nie są one stale zwarte (np. jeżeli rozruch odbywa się przez rezystancję):	wirujących tylko w jednym kierunku lub też zmieniających kierunek wirowania po uprzednim zatrzymaniu się	$2 U_r + 1000 \text{ V}$, lecz nie mniej niż 1500V
		nawrotnych lub hamowanych przeciwnieprądem	$4 U_r + 1000 \text{ V}$, lecz nie mniej niż 1500V
6	Uzwojenia wirników silników prądu stałego dźwignicowych nawrotnych		$3 U_n + 1000 \text{ V}$, lecz nie mniej niż 1500V
7	Wzbudnice, oprócz podanych w lp. 2 i 8		jak dla uzwojeń wzbudzających, do zasilania których są przeznaczone
8	Wzbudnice silników synchronicznych lub indukcyjnych synchronizowanych, jeżeli są podczas rozruchu silnika odłączone lub jeżeli jeden ich biegun jest uziemiony		$2 U_n + 1000 \text{ V}$, lecz nie mniej niż 1500V

U_n – napięcie znamionowe, [V],

U_w – największe napięcie znamionowe wzbudzenia, [V],

U_m – największe napięcie, które może powstać w warunkach rozruchowych pomiędzy zaciskami uzwojenia wzbudzenia lub w przypadku, gdy jest ono podzielone na gałęzie – między zaciskami gałęzi, [V],

U_r – napięcie między pierścieniami lub zaciskami wirnika, przy zahamowanym wirniku i napięciu znamionowym przyłożonym do zacisków stojana, [V].

Dodatkowe informacje: Publikacja IEC 60034-1:2017.

Maszyny wysokonapięciowe powinny zostać poddane dodatkowym próbom, które należy przeprowadzić zgodnie z wymaganiami *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część VIII – Instalacje elektryczne i systemy sterowania*:

- punkt 18.7.5: próba napięciowa przy wysokiej częstotliwości na pojedynczych zewojach;
- punkt 18.10: próby napięciowe i pomiar rezystancji izolacji.

4.10 Próba biegu jałowego

Maszyny powinny pracować bez obciążenia i przy znamionowej prędkości i w przypadku silników być zasilane znamionowym napięciem ze znamionową częstotliwością, natomiast w przypadku prądnic być napędzane w odpowiedni sposób i być wzbudzone, aby wytwarzać na zaciskach napięcie znamionowe.

Podczas trwania próby należy sprawdzać drgania maszyny oraz pracę systemu smarowania łożysk, jeżeli taki przewidziano.

4.11 Sprawdzenie stopnia ochrony

Zgodnie z Publikacją IEC 60034-5:2000+AMD1:2006.

4.12 Sprawdzenie łożysk

Po zakończeniu powyższych prób, na wniosek inspektora PRS, należy otworzyć maszyny wyposażone w łożyska ślizgowe celem ustalenia, czy wał jest należycie osadzony w panewkach.

Wykaz zmian obowiązujących od 1 stycznia 2022 roku

<i>Pozycja</i>	<i>Tytuł/Temat</i>	<i>Źródło</i>
4.8 a)	Obserwacja z audytu	PRS
4.5, 4.6, 4.9, 4.11	Wymagania testowe dla maszyn wirujących – aktualizacja edycji norm	UR E13