

# LEMoK – silnik o dużej gęstości mocy

Tomasz Wolnik

## 1. Wstęp

W innowacyjnych projektach i rozwiązaniach w branży lotniczej, e-mobility czy np. przemysłu nautycznego, w których zastosowanie mają znaleźć silniki elektryczne, szczególną uwagę zwraca się na odpowiednio wysoki stosunek mocy do masy silnika, wyrażany poprzez tzw. współczynnik gęstości mocy  $\xi$  [1–3]. Współczynnik ten odnosić można zarówno do mocy ciągłej, jak i do mocy maksymalnej silnika, na co należy zwracać uwagę podczas porównywania dostępnych na rynku rozwiązań. W niniejszym artykule zaprezentowano rozwiązania silników opracowanych w Instytucie Łukasiewicz – KOMEL, funkcjonujących pod nazwą LEMoK. Są to silniki o strumieniu promieniowym (ang. *Radial Flux*) z wirnikiem zewnętrznym. Obecnie prace nad rozwojem istniejących i opracowaniem nowych konstrukcji w typoszeregu prowadzone są w ramach projektu LIDER/31/0169/L-12/20/NCBR/2021, finansowanego przez NCBR. Przedstawione w publikacji rozwiązanie silnika cechuje się mocą ciągłą 37 kW dla prędkości 5400 rpm i masą silnika 9,5 kg, co pozwala na uzyskanie współczynnika gęstości mocy  $\xi = 3,89$  kW/kg (dla mocy ciągłej). Moc maksymalna silnika wynosi 79 kW, a współczynnik gęstości mocy w odniesieniu do mocy chwilowej wynosi  $\xi = 8,31$  kW/kg. Takie parametry silnika są mocno konkurencyjne w stosunku do dostępnych na rynkach zagranicznych rozwiązań o podobnej wielkości mechanicznej, ale wykonywanych zazwyczaj w technologii silników o strumieniu osiowym (ang. *Axial Flux*).

## 2. LEMoK – logo

Jak wspomniano we wprowadzeniu, opracowane rozwiązanie funkcjonuje pod nazwą LEMoK, w rozwinięciu oznaczającą w języku angielskim: *Light E-Motor of KOMEL*. Nazwa ta została zgłoszona do Urzędu Patentowego RP jako znak towarowy. Na rysunku 1 przedstawiono opracowane i zastrzeżone logo.



## 3. LEMoK 200

LEMoK 200 to silnik PMSM z magnesami trwałymi z wirnikiem zewnętrznym. Silnik chłodzony jest cieczą i zasilany poprzez falownik z napięcia DC. Prace B+R nad rozwiązaniem konstrukcyjnym silnika trwają w Instytucie

**Streszczenie:** Obecnie w wielu innowacyjnych projektach i rozwiązaniach zainteresowanych wykorzystaniem do napędów silników elektrycznych, szczególną uwagę zwraca się na odpowiednio wysoki stosunek mocy do masy silnika, wyrażony poprzez tzw. współczynnik gęstości mocy  $\xi$ . W szczególnym stopniu dotyczy to takich aplikacji, jak lotnictwo, e-mobility czy przemysł nautyczny. W niniejszym artykule przedstawiono rozwiązanie silników opracowanych w Instytucie Łukasiewicz – KOMEL, funkcjonujących pod nazwą LEMoK. Przedstawione w publikacji rozwiązanie cechuje się mocą ciągłą 37 kW dla prędkości 5400 rpm i masą silnika 9,5 kg, co pozwala na uzyskanie współczynnika gęstości mocy  $\xi = 3,9$  kW/kg (dla mocy ciągłej). Moc maksymalna silnika wynosi 79 kW.

Słowa kluczowe: silniki o dużej gęstości mocy, silniki z magnesami trwałymi

## LEMOK – HIGH POWER DENSITY MOTOR

**Abstract:** Currently, in many innovative projects and solutions interested in the use of electric motors, special attention is paid to the appropriately high power-to-weight ratio of the motor, expressed by the so-called power density factor  $\xi$ . This applies in particular to applications such as aviation, e-mobility or the nautical industry. This article presents motor solutions developed at the Łukasiewicz – KOMEL Institute, operating under the name LEMoK. The solution presented in the publication is characterized by a continuous power of 37 kW for 5400 rpm and motor weight of 9,5 kg, which allows for a power density factor of  $\xi = 3,9$  kW/kg (for continuous power). The maximum motor power is 79 kW.

Keywords: high power density motor, permanent magnet motors.

Łukasiewicz – KOMEL od kilku lat. Pierwszym opracowanym i przebadanym laboratoryjnie rozwiązaniem był silnik przedstawiony na rysunku 2. Silnik podlegał kilku modyfikacjom, a ostateczne parametry eksploatacyjne uzyskane z badań przedstawiono w tabelach 1 i 2 oraz na rysunku 3.

W ramach projektu LIDER opracowana została zmodyfikowana wersja silnika LEMoK 200, której model 3D przedstawiono na rysunku 4. W stosunku do wersji pierwotnej zmodyfikowano układ łożyskowania oraz obudowy silnika, co pozwoliło na zmniejszenie masy o 1 kg (ok. 10%). Ponadto zmodyfikowano konstrukcję obwodu elektromagnetycznego



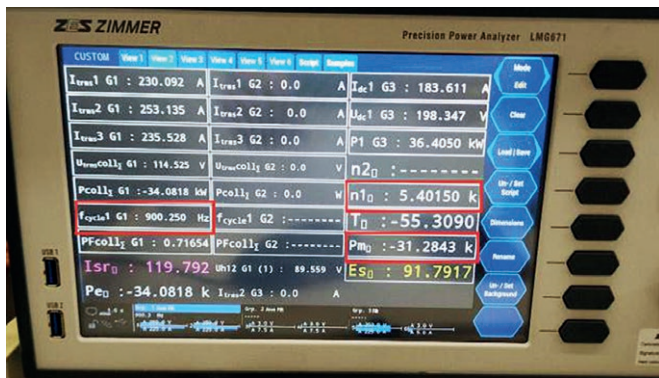
Rys. 2. Pierwszy silnik modelowy LEMoK 200

Tabela 1. Parametry eksploatacyjne pierwszego silnika modelowego LEMoK 200

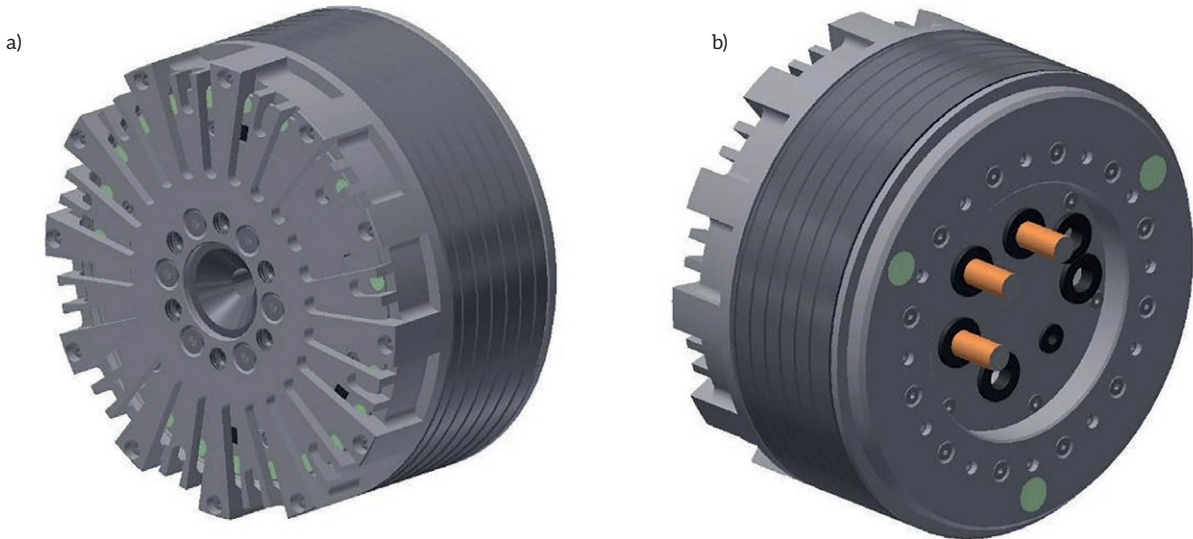
Parametr	Jedn.	Wartość
Moc ciągła	kW	31
Prędkość nominalna	rpm	5400
Moment ciągły	Nm	55
Prędkość maksymalna	rpm	6000
Moment maksymalny	Nm	115
Masa silnika	kg	10.5
Liczba biegunów	-	20
$\xi$ - dla mocy ciągłej	kW/kg	2.95

Tabela 2. Parametry silnika modelowego oraz temperatura stojana i wirnika w funkcji prędkości obrotowej dla znamionowej wartości prądu

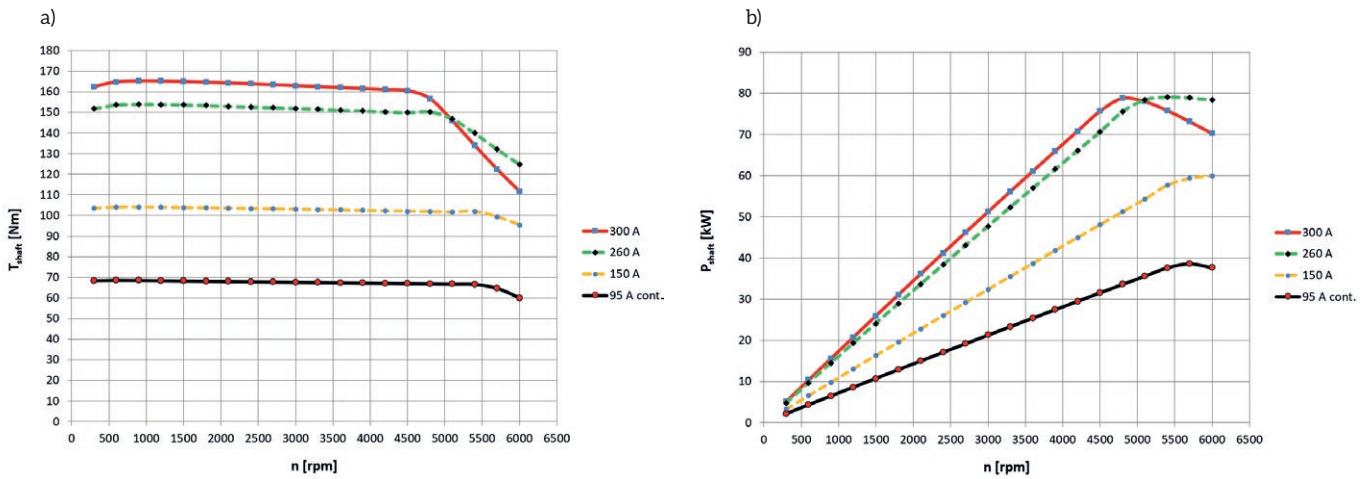
n	f	$P_m$	$T_m$	$T_{stojan}$	$T_{wirnik}$
rpm	Hz	kW	Nm	°C	°C
600	100	3.8	60.9	86	42
1200	200	7.6	60.0	92	54
1800	300	11.1	58.8	99	67
2400	400	14.6	58.2	104	74
3000	500	18.1	57.6	111	80
3600	600	21.6	57.3	118	87
4200	700	24.9	56.5	122	88
4800	800	27.8	55.4	125	93
5400	900	31,0	54,8	126	95



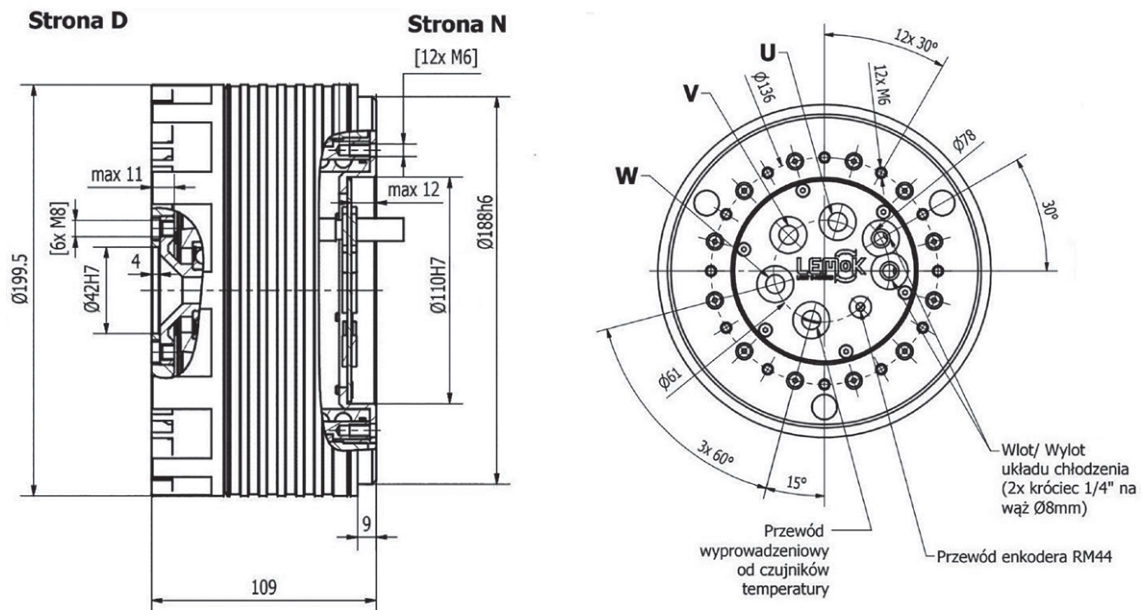
Rys. 3. Rejestracja parametrów nominalnych silnika modelowego LEMoK 200



Rys. 4. Modele 3D nowej wersji LEMoK 200: a) widok strony napędowej; b) widok od strony wyprowadzenia przewodów



Rys. 5. Charakterystyki eksploatacyjne silnika LEMoK 200: a) charakterystyka momentu; b) charakterystyka mocy



Rys. 6. Wymiary gabarytowe silnika LEMoK 200



Tabela 3. Parametry LEMoK 200 po modyfikacjach

Parametr	Jedn.	Wartość
Moc ciągła	kW	37
Prędkość nominalna	rpm	5400
Prędkość maksymalna	rpm	6000
Moment ciągły	Nm	65.4
Moment maksymalny	Nm	165
Moc maksymalna	Kg	79
Masa silnika	kg	9.5
$\xi$ - dla mocy ciągłej	kW/kg	3.89
$\xi$ - dla mocy max.	kW/kg	8.31

oraz układu chłodzenia, co pozwoliło na zwiększenie mocy maksymalnej silnika z 31 kW do 37 kW (ok. 20%). Szczegółowe parametry zmodyfikowanego silnika LEMoK 200 przedstawiono w tabeli 3. Podane wartości parametrów są na tym etapie wartościami obliczeniowymi. Model rzeczywisty silnika jest obecnie wykonywany w ramach etapu 1 projektu.

Na rysunku 5 przedstawiono podstawowe charakterystyki eksploatacyjne zmodyfikowanej wersji silnika LEMoK 200, natomiast na rysunku 6 przedstawiono jego wymiary gabarytowe.

#### 4. LEMoK – perspektywy

Dalsze prace badawcze nad rozwojem silników LEMoK będą dotyczyły opracowania typoszeregu silników o większych gabarytach i mocach znamionowych. Przewiduje się opracowanie silnika LEMoK 250 (60 kW) oraz LEMoK 300 (80 kW).

#### Literatura


- [1] WOLNIK T., STYSKAŁA V., MŁCAK T.: *Study on the Selection of the Number of Magnetic Poles and the Slot-Pole Combinations in Fractional Slot PMSM Motor with a High Power Density. Energies* 2022, 15, 215. <https://doi.org/10.3390/en15010215>.
- [2] WOLNIK T., DUKALSKI P., BĘDKOWSKI B., JAREK T.: *Selected aspects of designing*

*motor for direct vehicle wheel drive. „Przeład Elektrotechniczny” („Electrical Review”) 2020, R.96., pp.150–153.*

- [3] WOLNIK T., STYSKAŁA V., HRBAC R., LYASCHENKO A.M.: *The Problem of Rotor Eddy-Current Losses in A Permanent Magnet Motor with High Power Density. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry IITI2021, Sochi, Russia, 30 September – 4 October 2021; pp. 501–512 (2021), DOI: 10.1007/978-3-030-87178-9\_50.*

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, powstała w ramach realizacji projektu LIDER/31/0169/L-12/20/NCBR/2021.

Artykuł został opublikowany w „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe 2022”

 dr inż. Tomasz Wolnik  
Sieć Badawcza Łukasiewicz –  
Instytut Napędów i Maszyn  
Elektrycznych KOMEL

artykuł recenzowany

reklama