

Łukasz Cyganik

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

## KONSTRUKCJA PRZYRZĄDU DO KLEJENIA MAGNESÓW NA WIRNIK

### THE DESIGN OF THE TOOLING FOR BONDING MAGNETS ON A ROTOR'S SURFACE

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono konstrukcję przyrządu do klejenia magnesów na powierzchni zewnętrznej wirnika do silników SPM. Celem prac było zaprojektowanie przyrządu zapewniającego wysoką dokładność pozycjonowania magnesów podczas klejenia oraz wysoką powtarzalność parametrów klejenia. Oprzyrządowanie wg wytycznych projektowych musi zabezpieczać magnes przed uszkodzeniem na skutek niekontrolowanego uderzenia spowodowanego działaniem sił magnetycznych pomiędzy klejonymi magnesami lub pomiędzy magnesem, a elementami przyrządu. Dlatego też, w projekcie przyrządu wszystkie jego elementy zaprojektowane zostały z materiałów niemagnetycznych. Ponadto, konstrukcja przyrządu zapewnia prostotę obsługi pozwalającą na obsługę przez jednego operatora nawet kilku przyrządów jednocześnie (w zależności od czasu wiązania kleju). Pozwala to na zwiększenie wydajności czasu pracy operatora i produkcji wirników.

**Abstract:** This article presents a design of a tooling for bonding magnets on an external rotor's surface dedicated to the SPM motors. The aim of the study was to design a tooling, that ensure a high accuracy of magnet positioning during bonding process and high repeatability of the bonding parameters. According to the design requirements, the tooling must protect the magnets from damage due to uncontrolled impact caused by the action of magnetic forces between different magnets or between magnets and tooling components. Therefore, in the tooling design all its components were designed from non-magnetic materials. Furthermore, the design of the tooling ensures ease of use allowing one operator to operate even several devices at the same time (depending on the bonding time of the glue). This allows to increase the efficiency of the operator working time and rotor production.

**Słowa kluczowe:** silnik z magnesami trwałymi, klejenie magnesów, silnik SPM, oprzyrządowanie do klejenia  
**Keywords:** permanent magnets electrical motor, magnets bonding, SPM motor, the tooling for bonding

### 1. Wstęp

Silniki z magnesami trwałymi są szeroko stosowane w różnych gałęziach przemysłu takich jak np. górnictwo [1, 2] czy elektromobilność [3-5]. Rosnące zainteresowanie tymi silnikami wynika z ich licznych zalet jak np. [3, 6]:

- wysoka sprawność w całym zakresie prędkości obrotowej,
- duża przeciążalność momentem,
- szeroki zakres prędkości obrotowej,
- efektywna regulacja prędkości obrotowej,
- duża niezawodność ruchowa w porównaniu do silników prądu stałego (brak węzła szczotkowego).

Spośród silników z magnesami trwałymi można wyróżnić bezszczotkowe silniki prądu stałego (BLDC) i silniki synchroniczne (PMSM) w których magnesy w wirniku mogą być umieszczone w slotach wewnątrz wirnika (silniki IPM) lub na powierzchni zewnętrznej wirnika

(silniki SPM) [7]. Niezależnie od wariantu (IPM czy SPM) w produkcji tych silników kluczową rolę odgrywa technologia mocowania magnesów do wirnika. W przypadku silników SPM dominującą technologią łączenia magnesów z powierzchnią wirnika jest klejenie. Technologia klejenia magnesów na powierzchni wirnika charakteryzuje się występowaniem wielu problemów związanych z pozycjonowaniem magnesów oraz z obecnością sił oddziaływania magnetycznego pomiędzy samymi magnesami i pomiędzy magnesami, a elementami wirnika. Klejone magnesy powinny być rozmieszczone równomiernie na obwodzie wirnika, dlatego też wykorzystywane do klejenia oprzyrządowanie powinno zapewniać jak największą dokładność równomiernego rozmieszczenia magnesów na powierzchni wirnika, aby ograniczyć asymetrię pola magnetycznego. Ponadto, podczas klejenia

magnesów na wirniku występujące siły oddziaływania magnetycznego powodują wzajemne przyciąganie/opychanie magnesów i elementów wykonanych ze stali magnetycznej, co w sposób istotny utrudnia osiągnięcie odpowiedniej dokładności pozycjonowania magnesów. W przypadku wirników, w których bieguny magnetyczne składają się z kilku magnesów umieszczonych w rzędzie, dodatkowym problemem podczas klejenia magnesu jest przewyższenie siły odpychania sąsiedniego magnesu i osiągnięcie zerowej (lub jak najmniejszej) szczeliny pomiędzy magnesami [8]. Dlatego też, oprzyrządowanie wykorzystywane w procesie klejenia magnesów powinno zapobiegać wszystkim powyższym problemom, tj. eliminować możliwość oderwania klejonego magnesu od podłoża lub jego przemieszczenia pod wpływem sił magnetycznych w czasie w którym klej nie osiągnął jeszcze odpowiedniego stopnia związania.

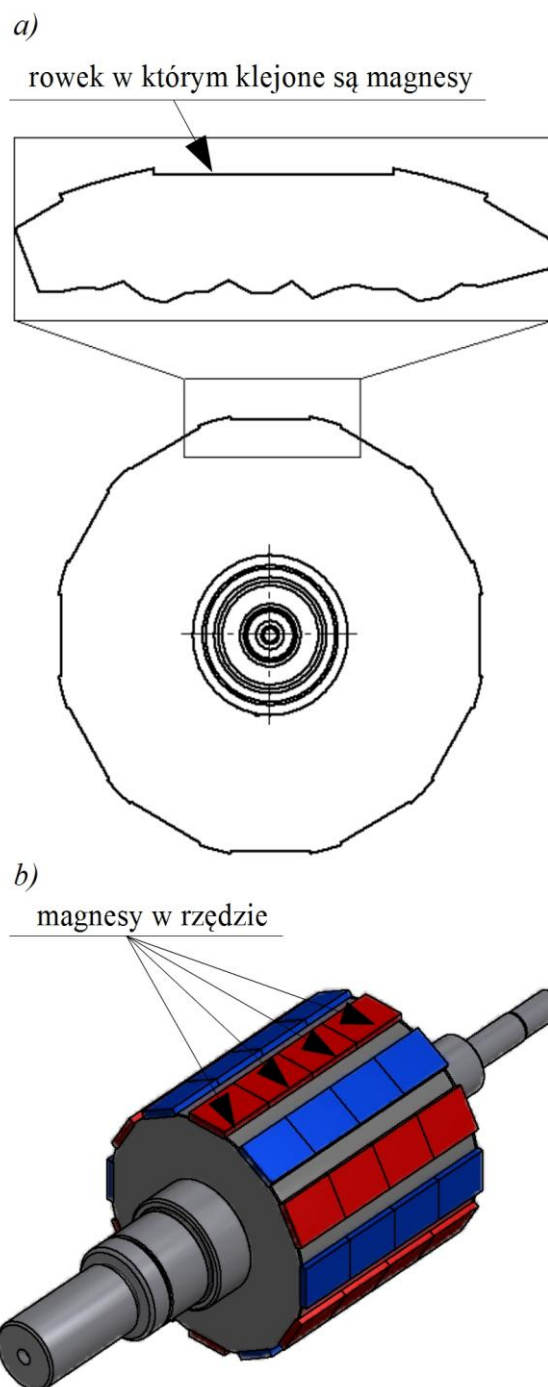
Celem prac przedstawionych w niniejszym artykule było zaprojektowanie odpowiedniego oprzyrządowania do klejenia magnesów na powierzchni wirnika, które umożliwi osiągnięcie zarówno wysokiej dokładności i powtarzalności klejenia, a także zabezpieczy magnes przed działaniem sił magnetycznych od etapu wprowadzania magnesu do strefy klejenia.

## 2. Założenia projektowe

Projekt konstrukcji przyrządu do klejenia magnesów na wirniku powstał w oparciu o następujące założenia oraz wytyczne:

- oprzyrządowanie powinno być wykonane z materiałów niemagnetycznych, nie oddziałujących z klejonymi magnesami,
- siła docisku magnesu do wirnika powinna być powtarzalna i równa dla każdego klejonego magnesu,
- oprzyrządowanie powinno umożliwiać łatwą aplikację kleju na wirnik oraz wizualną kontrolę jakości klejenia,
- na powierzchni wirnika znajdują się rowki równomiernie rozłożone na obwodzie, w których naklejane są magnesy,
- oprzyrządowanie musi umożliwiać klejenie kilku magnesów w rzędzie stanowiącym pojedynczy biegun magnetyczny wirnika.

Postać wirnika na którego powierzchni klejone są magnesy przedstawiono na rysunku 1. Widoczne są prostokątne rowki, których wykonanie na wirniku stanowi założenie projektowe dla konstrukcji przyrządu (rys. 1a).

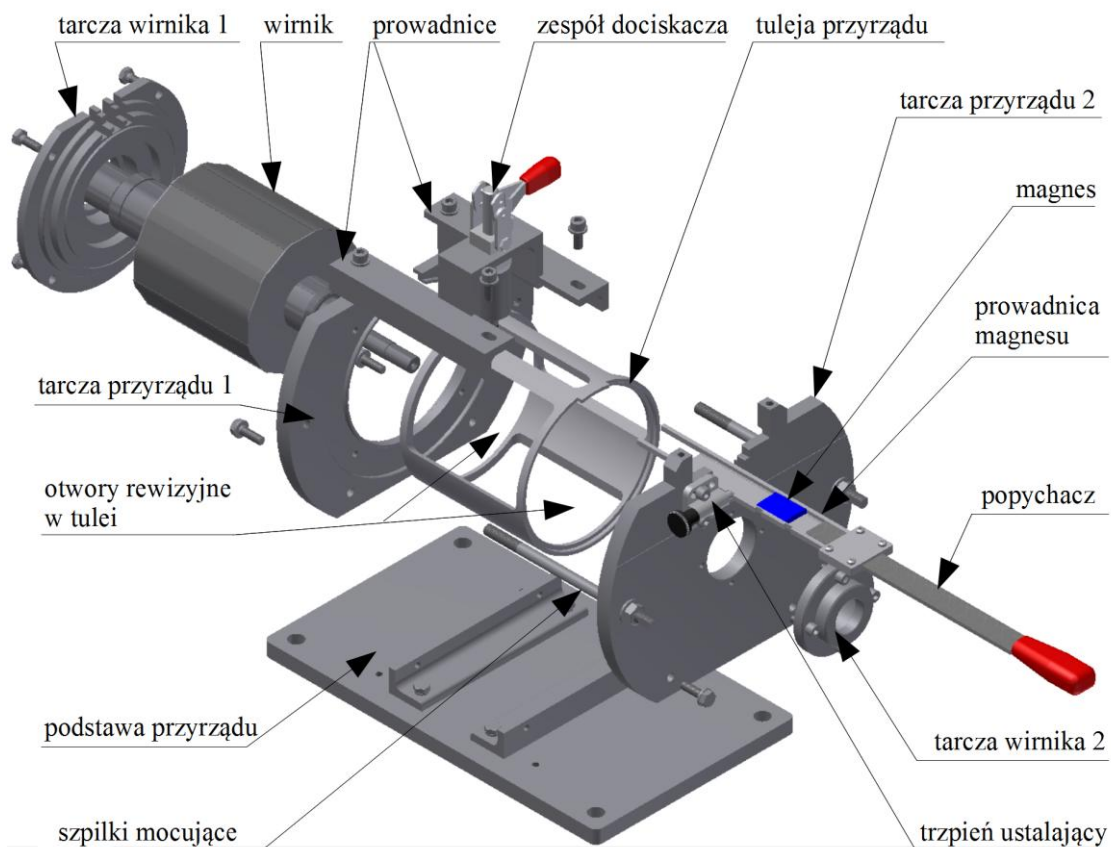


Rys. 1. Postać wirnika wg założeń projektowych z widocznymi a) rowkami w których naklejane są magnesy, b) magnesami w rzędzie stanowiącymi biegun magnetyczny

### 3. Konstrukcja przyrządu do klejenia magnesów na wirniku

Konstrukcję przyrządu do klejenia magnesów na wirniku przedstawiono na rysunku 2. Przyrząd składa się z tulei aluminiowej z wyciętym wzdłuż jej osi prostokątnym otworem służącym do klejenia magnesów oraz dodatkowo z wyciętymi na obwodzie szerokimi otworami rewizyjnymi, które umożliwiają wizualną ocenę jakości klejenia magnesów. W tulei z obu stron osadzone są na zamkach tarcze przyrządu, w których mocowany jest wirnik za pośrednictwem dodatkowych tarcz wirnika. Wirnik w tarczach wirnika osadzony jest na gniazdach łożyskowych. Tarcze wirnika umożliwiają zamocowanie wirnika w przyrządzie bez konieczności demontażu całego przyrządu, a także mocowanie wirników o innych wymiarach gniazd łożyskowych (ale tej samej średnicy zewnętrznej klejenia magnesów). Przyrząd wyposażony jest w prowadnicę magnesów umieszczoną na jednej z tarcz przyrządu, wsuwaną do wnętrza przyrządu i blokowaną za pomocą trzpienia ustalającego (rys. 3). Prowadnica magnesów służy do wprowadzania

magnesu do miejsca klejenia na wirniku, za pomocą popychacza ręcznego poruszającego się w prowadnicy magnesów. Na dolnej powierzchni prowadnicy znajduje się wypust, który kształtem i wymiarami dopasowany jest do rowków na powierzchni wirnika w których klejone są magnesy. Wsuwając prowadnicę magnesów do przyrządu i rowka w wirniku, ustalamy położenie całego wirnika w przyrządzie, blokując go przed obrotem. Ponadto, ścianki boczne prowadnicy są dłuższe niż tor prowadnicy po którym porusza się magnes, a na jednej z tych ścianek w równych odstępach są wyfrezowane rowki współpracujące z trzpieniem ustalającym położenie prowadnicy. Dzięki temu prowadnica magnesów jest blokowana każdorazowo w pozycjach zapewniających, że odległość od poprzednio naklejanego magnesu w rzędzie do końca toru prowadnicy, którym wprowadzamy następnego magnesu, jest większa od długości samego magnesu. Co więcej, końcówka toru prowadnicy jest pochylona w taki sposób, aby magnes ześlizgując się z niej nie usuwał krawędzią warstwy uprzednio naniesionego kleju. Na tar-



Rys. 2. Konstrukcja przyrządu do klejenia magnesów na wirniku - widok rozstrzelony

czach przyrządu zamontowane są również dwie prowadnice po których przemieszczają się zespoły dociskaczy magnesów. Magnes po wprowadzeniu do miejsca klejenia na wirniku, dociskany jest przez zespół dociskacza do wirnika na czas wiązania kleju. Zespół dociskacza (rys. 4), złożony jest z:

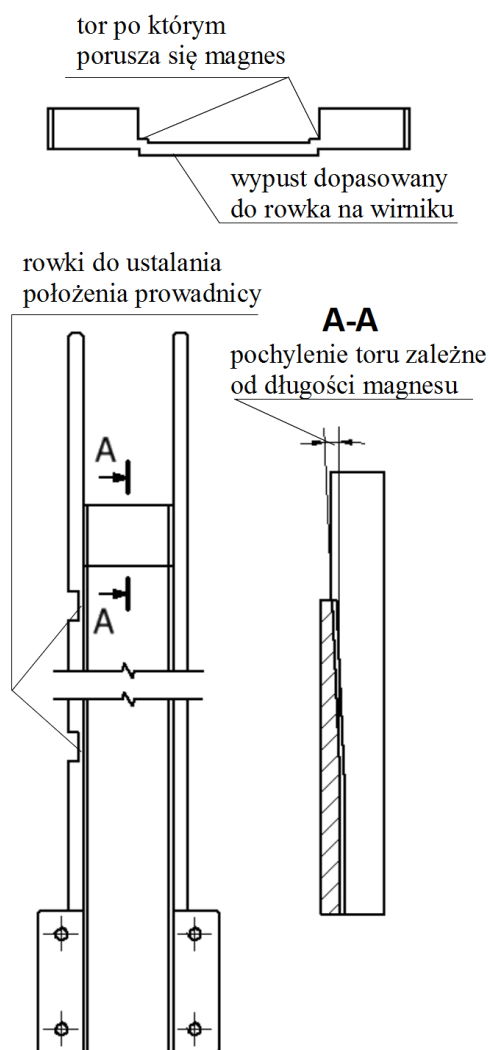
- przewodnika poruszającego się po prowadnicach w przyrządzie,
- dociskacza suwakowego,
- nakrętki blokującej dociskacz suwakowy,
- tulei dociskacza,
- podkładki oraz sprężyny osadzonej wewnątrz tulei dociskacza,
- stopki dociskowej z podkładką na końcu tulei dociskacza.

Jeśli szerokość zespołu dociskacza nie przekracza długości pojedynczego magnesu, to wszystkie magnesy w rzędzie stanowiącym biegun magnetyczny wirnika mogą być klejone jednocześnie z wykorzystaniem kilku zespołów dociskaczy. W ten sposób możliwe jest skrócenie czasu klejenia magnesów na wirniku.

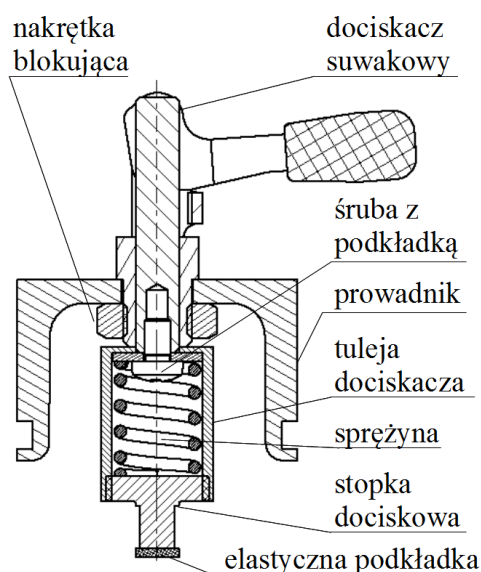
Wszystkie elementy przyrządu, poza sprężynami w zespołach dociskaczy wykonane są z materiałów niemagnetycznych (aluminium lub niemagnetyczna stal nierdzewna). Dzięki temu magnesy nie oddziałują z elementami przyrządu, co minimalizuje ryzyko zniszczenia magnesu na skutek uderzenia związanego z nieprzewidzianym przyciągnięciem magnesu do elementu magnetycznego.

#### 4. Zasada działania przyrządu

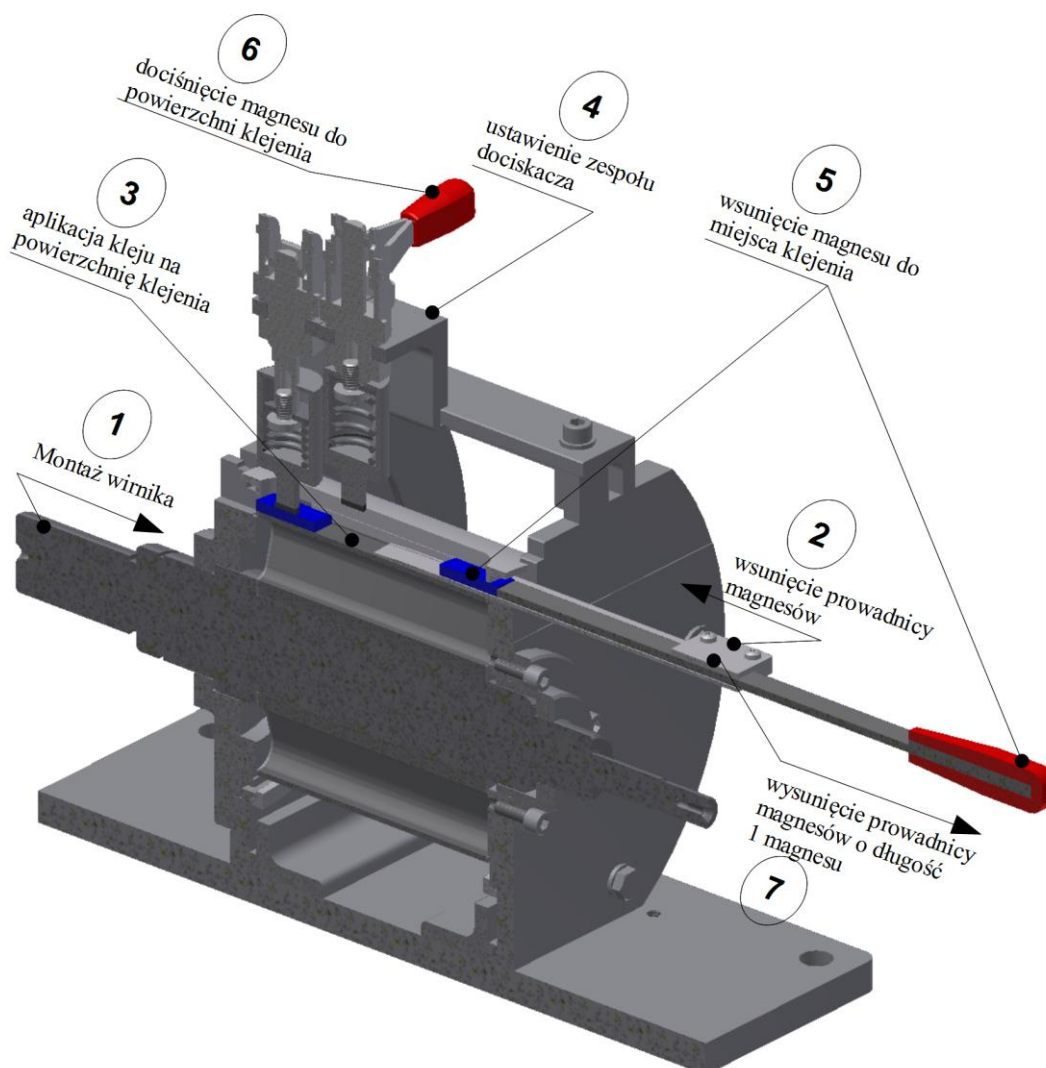
Obsługa przyrządu jest bardzo prosta, a poszczególne czynności wykonywane przez operatora podczas klejenia magnesów na wirniku przedstawia rysunek 5. W pierwszej kolejności na wirniku (uprzednio odtłuszczonym) osadzana jest tarcza wirnika 1 i razem z nią wirnik mocowany jest w przyrządzie. Następnie wsuwana jest prowadnica magnesów do wnętrza przyrządu i jednocześnie do jednego z rowków na wirniku, w którym będą klejone magnesy. Położenie prowadnicy blokowane jest za pomocą trzpienia ustalającego na ostatnim rowku bocznym w prowadnicy magnesów (położenie ostatniego rowka odpowiada pozycji prowadnicy do klejenia pierwszego magnesu w rzędzie). W ten sposób wirnik zostaje zablokowany przed obrotem na czas klejenia pojedynczego rzędu magnesów stanowiących biegun magnetyczny. Po ustaleniu pozycji wirnika i prowadnicy magnesów, na powierzchnię



Rys. 3. Prowadnica magnesów



Rys. 4. Konstrukcja zespołu dociskacza magnesu



Rys. 5. Zasada działania przyrządu - poszczególne czynności podczas klejenia magnesów na wirniku

klejenia magnesów aplikowany jest klej. Następnie operator wkłada zespół dociskacza w przewodnicę przyrządu i ustawia nad powierzchnią klejenia magnesu. W dalszej kolejności magnes wkładany jest do toru na przewodnicy magnesów i popychaczem wprowadzany do miejsca klejenia na wirniku. W końcowej fazie wprowadzania magnesu, operator jedną ręką dociska (za pośrednictwem popychacza) wsuwany magnes do tarczy wirnika (lub do uprzednio naklejonego magnesu w rzędzie), a drugą ręką pociąga za dźwignię w zespole dociskacza i dociska magnes do powierzchni klejenia na wirniku. W ten sposób klejony magnes dociśnięty jest zarówno do powierzchni wirnika jak i do poprzedniego magnesu, eliminując ewentualną szczelinę pomiędzy magnesami w rzędzie, mogącą powstać na skutek wzajemnego odpychania się magne-

sów. Magnes pozostaje w tej pozycji dociśnięty (ze stałą siłą docisku wytworzoną przez sprężynę w zespole dociskacza) na czas wstępnego wiązania kleju. Po dociśnięciu magnesu operator odblokowuje położenie przewodnicy magnesów i przesuwa ją do pozycji następnego rowka bocznego (odpowiadającego pozycji przewodnicy do klejenia następnego magnesu w rzędzie). Następnie powtarzane są czynności klejenia magnesu aż do momentu naklejenia ostatniego magnesu w rzędzie bieguna magnetycznego. Po naklejeniu ostatniego magnesu w rzędzie, przewodnica magnesów jest wysuwana z przyrządu, a wirnik obracany do następnego rowka na wirniku w którym będzie klejony kolejny rząd magnesów. W ten sposób czynności klejenia są powtarzane, aż zostaną naklejone wszystkie magnesy na wirniku.

## 5. Podsumowanie

Przyrząd do klejenia magnesów na powierzchni zewnętrznej wirnika został wdrożony do produkcji wirników w zakładzie wdrożeniowym Sieci Badawczej Łukasiewicz - Instytutu Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL. Zastosowanie przyrządu w produkcji pozwala na osiągnięcie wysokiej dokładności pozycjonowania magnesów na wirniku, a także wysokiej powtarzalności parametrów procesu klejenia. Jednocześnie, konstrukcja przyrządu zapewnia komfort pracy operatora, a prostota obsługi przyrządu umożliwi zwiększenie wydajności pracy oraz produkcji poprzez obsługę jednocześnie np. 2 (lub więcej) przyrządów do klejenia magnesów przez jednego operatora. Obsługa kilku przyrządów przez jednego operatora zależy jednak od czasu wstępnego wiązania zastosowanego kleju.

Konstrukcja przyrządu do klejenia magnesów na powierzchni wirnika jest chroniona patentem UP RP nr 234069.

## 6. Literatura

- [1]. Dukalski P., Gawron S., Dzikowski A., "Wysokosprawne silniki z magnesami trwałymi w napędach górniczych", *Masz. Elektr. - Zesz. Probl.*, nr 2 (102), str. 77-83, 2014.
- [2]. Polnik B., "Silnik PMSM jako nowoczesny napęd w górniczych systemach transportowych", *Masz. Elektr. - Zesz. Probl.*, nr 1 (94), str. 81-86, 2012.
- [3]. Bernatt J., Gawron S., Król E., "Nowoczesne silniki z magnesami trwałymi do zastosowań trakcyjnych", *TTS - Technika Transportu Szynowego*, nr 1-2, str. 73-76, 2010.
- [4]. Dukalski P., Będkowski B., Wolnik T., Urbaś A., Augustynek K., "Założenia projektu silnika do zabudowy w piaście koła samochodu elektrycznego", *Masz. Elektr. - Zesz. Probl.*, nr 2 (114), str. 263-272, 2017.
- [5]. Król E., "Silniki synchroniczne w napędach pojazdów sportowo - rekreacyjnych", *Masz. Elektr. - Zesz. Probl.*, nr 2 (102), str. 23-27, 2014.
- [6]. Glinka T., Jakubiec M., "Silniki elektryczne z magnesami trwałymi umieszczonymi na wirniku", *Masz. Elektr. - Zesz. Probl.*, nr 71, str. 103-112, 2005.
- [7]. Król E., Rossa R., "Silniki z magnesami trwałymi o dużej przeciążalności momentem", *Masz. Elektr. - Zesz. Probl.*, nr 81, str. 27-31, 2009.
- [8]. Cyganik Ł., Czaja T., Będkowski B., Pytel J., Weber A., Brymora L., Glinka T., Patent "Przyrząd do klejenia magnesów na powierzchni zewnętrznej wirnika", Pat 234069, 2019.