

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **233805**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **425758**

(51) Int.Cl.

**A61M 1/10 (2006.01)**

**A61M 1/12 (2006.01)**

**F04D 19/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **28.05.2018**

(54) **Hybrydowy zespół napędowo-łożyskujący wirnika pompy osiowej  
zwłaszcza pompy do wspomagania pracy serca**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**11.03.2019 BUP 06/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**29.11.2019 WUP 11/19**

(73) Uprawniony z patentu:

**CENTRUM TECHNIKI OKRĘTOWEJ  
SPÓŁKA AKCYJNA, Gdańsk, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**BARTOSZ BOROWIECKI, Gdańsk, PL  
KINGA DAWIDOWSKA, Bytów, PL  
MICHAŁ DITRICH, Gdańsk, PL  
PAWEŁ HOFFMAN, Gdańsk, PL  
PIOTR SIONDAŁSKI, Pręgowo, PL  
LESZEK WILCZYŃSKI, Gdańsk, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Małgorzata Kluczyk**

**PL 233805 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest hybrydowy zespół napędowo-łożyskujący wirnika pompy osiowej zwłaszcza pompy do wspomaganie pracy serca. Zespół według wynalazku znajduje zastosowanie jako główny element pompy wspomagającej serce zarówno w formie urządzenia wszczepionego do ciała chorego, jak też w formie urządzenia pozaustrojowego, do leczenia niewydolności jednej z komór serca. Wynalazek znajduje także zastosowanie w pompach osiowych innego rodzaju, zwłaszcza o niewielkich gabarytach.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr US6527521 znana jest napędzana elektromagnetycznie oraz łożyskowana magnetycznie i/lub elektromagnetycznie pompa osiowa, złożona z korpusu obudowy, wewnątrz której utworzony jest kanał stały oraz wirnika umieszczonego w tym kanale. Napęd pompy jest zapewniany przez układ cewek wytwarzający wirujące pole magnetyczne, które w wyniku oddziaływania z magnesami napędowymi wirnika pozwalają uzyskać ruch obrotowy wirnika wokół jego osi i/lub osi kanału przepływowego. Bezkontaktowe łożyskowanie wirnika jest zapewnione przez układ łożysk magnetycznych pasywnych składających się z magnesów umieszczonych wewnątrz wirnika oraz magnesów rozmieszczonych wewnątrz obudowy pompy i/lub łożysk magnetycznych aktywnych składających się z cewek rozmieszczonych na obwodzie w obudowie pompy oraz magnesów umieszczonych wewnątrz obudowy. W ujawnionym układzie łożyskującym wirnika pompy osiowej występuje wiele elementów składowych, takich jak: cewka lub cewki wytwarzające pole magnetyczne, końcówka mocy zasilająca cewkę lub cewki, układ do sterowania zasilaniem cewki lub cewek, magnesy lub pojedynczy magnes, które mogą powodować zwiększenie ryzyka awarii pompy, co może dyskwalifikować rozwiązanie do zastosowania w odpowiedzialnej konstrukcji, takiej jak np. pompa wspomagająca pracę serca.

W dokumentacji ujawniono również, że w układzie napędowym oraz łożyskującym są zastosowane magnesy o niestandardowej geometrii lub niestandardowej metodzie magnesowania, bądź wiele magnesów o niewielkich gabarytach, co powoduje, że dokładność wykonania takich magnesów może być niewystarczająca do zastosowania w układzie pompy wirkowej do wspomaganie serca. Pompa taka bowiem, charakteryzuje się niewielkimi gabarytami oraz prędkościami obrotowymi mieszczącymi się w zakresie od kilku do kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę.

Geometria kanału przepływowego przedstawiona w tym ujawnieniu charakteryzuje się zmienną na długości średnicą wewnętrzną obudowy i średnicą wewnętrzną kanału, trudną do wykonania w postaci modelu dzielonego bez występowania minimalnego uskoku mającego kontakt z medium roboczym. Przy zastosowaniu w konstrukcji pompy wspomagającej serce może się to przyczyniać do pogorszenia własności trombogennych pompy. Zaproponowana geometria kanału przepływowego wynika z konieczności zastosowania aktywnego i/lub pasywnego łożyska magnetycznego zabezpieczającego wirnik przed kontaktem mechanicznym z układem przepływowym oraz zabezpieczającego wirnik przed wysunięciem z obszaru pracy w kierunku poosiowym.

W dokumentacji zgłoszeniowej WO2007003351 ujawniona jest osiowa pompa ze spiralnie ukształtowanymi łopatkami wirnika. Pompa ma podłużny rotor umieszczony w obudowie zawierającej wlot i wylot. Wirnik jest wyposażony w wylot, w którym znajduje się spiralny element przenośnikowy, którego wychylenie wzrasta w kierunku wylotu. Napęd elektromagnetyczny służy do napędzania wirnika, a stojan wykonany z materiału ferromagnetycznego w postaci pakietów blach, jako monolit, bądź jako materiał drukowany, umieszczony jest w obudowie, przy czym stojan współpracuje z wirnikiem działającym magnetycznie. W celu zabezpieczenia wirnika przed wysunięciem poosiowym w obudowie umieszczone są dodatkowe magnesy blokujące oraz utrzymana jest zmienna geometria kanału, w którym umieszczony jest wirnik pompy.

Z publikacji „Opracowanie konstrukcji osiowej pompy wspomaganie serca” [Wilczyński L., Ditrich M., Hoffmann P., Dawidowska K., Borowiecki B., Górski W., Jakubowski P., Siondalski P., Smoleński R.; [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net); full text April 02, 2015] znana jest wszczepialna pompa osiowa przeznaczona do wspomaganie lewej komory serca. Pompę zaprojektowano w Centrum Techniki Okrętowej S.A. w Gdańsku. Badania obejmowały obliczenia numeryczne przepływu przez pompę, obliczenia związane z projektowaniem bezkontaktowego układu napędowego pompy oraz magnetycznego zawieszenia jej wirnika oraz szeregu eksperymentów związanych z testowaniem funkcjonowania pompy w warunkach in vitro. Pierścieniowy stojan zaopatrzony w zęby, na których nawinięte są cewki lub stator bez zębów w formie pierścienia z cewkami umieszczonymi od wewnętrznej strony, nałożony jest na cylindryczną tuleję kanału przepływowego, wewnątrz której suwliwie umieszczony jest wirnik zawierający łopatki zamocowane od wewnętrznej strony

do cylindrycznego korpusu wirnika. W korpusie obwodowo umieszczone są neodymowe trwałe magnesy napędowe. Na powierzchni korpusu wirnika wykonane są kanałowe kawery przepływowe.

Konstrukcje wielu łożysk hydrodynamicznych mających zastosowanie w pompach wspomagających serce, ze względu na kształt powierzchni generujących siły łożyskujące, komplikują proces technologiczny oraz mogą powodować zwiększoną lizę krwi, która jest zjawiskiem niepożądanym w systemach wspomagających serce. Przykład takiego rozwiązania ujawniono w opisie patentowym US8790236, gdzie również zabezpieczenie wirnika osiowej pompy krwi przed niepożądanym wysuwem w kierunku poosiowym uzyskano dzięki zmiennemu przekrojowi kanału wewnątrz obudowy.

Celem wynalazku jest opracowanie rozwiązania pozbawionego tych niedogodności.

Hybrydowy zespół napędowo-łożyskujący wirnika pompy osiowej zwłaszcza pompy do wspomagania pracy serca zawierający pierścieniowy stojan zaopatrzony w zęby, na których nawinięte są cewki lub z cewkami umieszczonymi od wewnętrznej strony, nałożony na cylindryczną tuleję kanału przepływowego, wewnątrz której suwliwie umieszczony jest wirnik z łopatkami, które to łopatki są zamocowane od wewnętrznej strony do cylindrycznego korpusu wirnika, w którym to korpusie obwodowo umieszczony jest co najmniej jeden magnes trwały napędowy korzystnie neodymowy charakteryzuje się według wynalazku tym, że na długości korpusu wirnika, powiększonej o zakres roboczego poosiowego przemieszczenia wirnika, średnica wewnętrzna tulei kanału przepływowego jest stała i ustalona jako jedna z wartości z przedziału od 0,50 do 0,7 zewnętrznej średnicy pierścienia stojana. Średnica zewnętrzna korpusu wirnika jest stała na całej jego długości i ustalona jako jedna z wartości z przedziału od 1,1 do 1,3 wewnętrznej średnicy korpusu wirnika. Zewnętrzna średnica pierścienia stojana wynosi od 1,4 do 1,7 sumy zewnętrznej średnicy tulei kanału przepływowego i grubości magnesu napędowego. Grubość magnesu napędowego jest stała i ustalona jako jedna z wartości w przedziale, wyznaczona z zależności:

$$\frac{D2 + D1}{D6 + D5 + D2 - D1} = \text{od } 0,55 \text{ do } 0,7$$

gdzie

D1 – średnica wewnętrzna magnesów napędowych lub pojedynczego magnesu napędowego,

D2 – średnica zewnętrzna magnesów napędowych lub pojedynczego magnesu napędowego,

D5 – średnica zewnętrzna tulei kanału przepływowego,

D6 – średnica wewnętrzna pierścienia stojana.

Korzystnie korpus wirnika ma obwodowo fazowane krawędzie.

W zespole według wynalazku generowany jest wymagany moment napędowy oraz stabilne siły łożyskujące wirnik w kierunku poosiowym, zabezpieczające wirnik przed opuszczeniem obszaru pracy, jak również w kierunku poprzecznym, przy zastosowaniu możliwie najmniejszej liczby elementów konstrukcyjnych. Korzystną cechą zespołu według wynalazku jest wykorzystanie elementów układu napędowego wirnika w układzie łożyskowania w kierunku poprzecznym oraz w układzie łożyskowania w kierunku poosiowym. Bezkontaktowy układ łożyskowania w kierunku poprzecznym jest tworzony przez film cieczowy powstający w szczelinie pomiędzy wewnętrzną powierzchnią kanału przepływowego a powierzchnią zewnętrzną wirnika. Linie tworzące tych powierzchni są dopasowane kształtem wzajemnie względem siebie lub są odcinkami równoległymi. Układ łożyskowania w kierunku poosiowym tworzony jest w wyniku istnienia sił magnetycznego oddziaływania pomiędzy statorem a magnesami napędowymi lub pojedynczym magnesem napędowym w formie pierścienia. Połączenie wierzchołków łopatek z wewnętrzną powierzchnią korpusu wirnika pozwoliło na zwiększenie ich powierzchni czynnej, co skutkuje osiągnięciem pożądanej różnicy ciśnień w wirniku przy stosunkowo niskich obrotach, a także umożliwiło zmniejszenie dystansu między cewkami stojana a korpusem wirnika.

Parametry konstrukcyjne silnika są również bezpośrednio powiązane z parametrami konstrukcyjnymi poosiowego łożyska magnetycznego, które powstaje w wyniku wzajemnego przyciągania magnesów napędowych z ferromagnetyczną częścią statora, najczęściej wykonywaną z blach lub spieków. Zjawisko wzajemnego przyciągania magnesów napędowych i ferromagnetycznych blach statora zachodzi zarówno w kierunku poosiowym jak i poprzecznym. Z tego powodu w sposób obliczeniowy dobiera się zależności pomiędzy wartościami sił działających w kierunku poosiowym i poprzecznym, pozwalające na jednoczesne działanie układu łożyska poosiowego oraz poprzecznego, bez generowania sił zakłócających pracę tych układów.

Prawidłowe działanie układu poprzecznego łożyska hydrodynamicznego możliwe jest jedynie w przypadku zaistnienia co najmniej równowagi pomiędzy siłami hydrodynamicznymi łożyska, a siłami destabilizującymi położenie wirnika, a w szczególności siłami związanymi ze zjawiskami dynamicznymi

oraz siłami powstającymi w wyniku oddziaływania magnesów napędowych z ferromagnetycznymi elementami silnika oraz oddziaływania magnesów napędowych z cewkami silnika.

Korzyścią zespołu napędowo-łożyskującego według wynalazku jest wykorzystanie elementów układu napędowego do jednoczesnego pełnienia funkcji łożyska poosiowego i poprzecznego, co znacznie upraszcza konstrukcję kanału przepływowego, który może zostać wykonany z monolitu, oraz umożliwia zmniejszenie liczby elementów konstrukcyjnych pozwalających zwiększyć niezawodność pompy, będącą kluczowym elementem urządzenia do mechanicznego wspomaganie serca. Wynalazek umożliwia rezygnację z zastosowania hydrodynamicznego łożyska poosiowego. Rozwiązanie według wynalazku, dzięki wymuszeniu w szczelinie pomiędzy ścianą kanału stałego a wirnikiem ciągłego przepływu omywającego wirnik, redukuje ryzyko występowania embolii. Ponadto przez utworzenie stabilnego łożyska hydrodynamicznego, wynalazek pozwala na redukcję natężenie pola magnetycznego, koniecznego do bezkontaktowego łożyskowania wirnika i/lub redukcję zapotrzebowania energetycznego pompy. Dzięki tak określonej geometrii możliwe jest zredukowanie dystansu między cewkami stojana a korpusem wirnika przy jednoczesnym zwiększeniu powierzchni czynnej łopatek wirnika i utrzymaniu prędkości obrotowej na poziomie ok. 6.000 obr./min.

Wynalazek jest bliżej objaśniony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia zespół ze statorem z cewkami na zębach w dwóch rzutach – w przekroju poprzecznym i półprzekroju podłużnym, fig. 2 przedstawia geometrię statora z zębami w trzech wariantach wykonania, fig. 3 przedstawia zespół ze statorem bez zębów w dwóch rzutach – w przekroju poprzecznym i półprzekroju podłużnym, a fig. 4 przedstawia schematycznie umiejscowienie zespołu w pompie wspomagającej pracę serca.

#### P r z y k ł a d I

W przykładzie zespół według wynalazku jest zastosowany w pompie jednostopniowej, o wirniku łożyskowanym magnetycznie za pomocą układu łożysk pasywnych lub aktywnych, albo pasywnych i aktywnych. Wirnik pompy jest napędzany za pomocą wirującego pola elektromagnetycznego.

Konstrukcja zespołu napędowo-łożyskującego wirnika pompy 1 zawiera stały kanał przepływowy 4 o niezmienniej średnicy wewnętrznej oraz zewnętrznej, wewnątrz którego umieszczony jest wirnik pompy 1. Wirnik 1 obraca się wokół osi pompy lub obraca się mimośrodowo lub obraca się wokół osi kanału przepływowego 4, wewnątrz którego pierścieniowo rozmieszczone są magnesy napędowe 2 lub pojedynczy magnes napędowy ukształtowany w formie pierścienia. Stator z cewkami 3 nawiniętymi na jego zębach zamocowany jest suwliwie na tulei kanału przepływowego 4 nad magnesami napędowymi 2. Wirnik utworzony jest z korpusu wirnika, do którego od wewnętrznej strony przytwierdzone są łopatki 5 o stałym lub zmiennym skoku, które zintegrowane są z korpusem wirnika 1 i osadzone na trzpieniu 6. W przykładowym rozwiązaniu urządzenia ruch obrotowy wirnika generowany jest za pomocą silnika bezszczotkowego, składającego się ze statora, cewek występujących w układzie co najmniej trójfazowym oraz magnesów napędowych.

Parametry konstrukcyjne silnika są bezpośrednio powiązane z parametrami konstrukcyjnymi poprzecznego łożyska hydrodynamicznego, które tworzone jest w wyniku wykonywania ruchu obrotowego wirnika zanurzonego w medium roboczym, dzięki czemu możliwe jest powstanie stabilnego filmu cieczowego w szczelinie pomiędzy ścianą kanału przepływowego 4 a korpusem wirnika 1, powodującego generowanie sił przeciwdziałających przyleganiu wirnika do ściany kanału przepływowego. W przykładowym wykonaniu urządzenia, siły pochodzące od zjawisk magnetycznych występujące w układzie napędowym skierowane w kierunku poprzecznym, a więc destabilizujące wirnik, są co najmniej równoważone przez siły stabilizujące generowane przez łożysko hydrodynamiczne. Siły magnetyczne występujące w układzie napędowym skierowane w kierunku poosiowym wystarczają do utrzymania wirnika w obszarze pracy, zabezpieczając wirnik przed jego opuszczeniem. Dobór parametrów konstrukcyjnych magnetowodu oraz geometrii układu przepływowego jest kluczowy dla jednoczesnego zapewnienia wygenerowania wymaganego momentu napędowego przy zachowaniu prędkości obrotowej determinującej powstawanie sił stabilizujących wirnik w kierunku poosiowym oraz poprzecznym. Siły hydrodynamiczne powstające w układzie poprzecznego łożyska hydrodynamicznego nie powodują ścinania elementów krwi.

W zależności od wymagań konstrukcyjnych pompy, takich jak prędkość obrotowa wirnika, moment napędowy, temperatura pracy, zapotrzebowanie energetyczne, tętnienia momentu zaczepowego, wyznacza się metodą obliczeniową parametry układu napędowo-łożyskującego, takie jak liczba cewek przypadających na pojedynczą fazę uzwojenia, liczbę zwojów pojedynczej cewki, liczbę faz, średnicę zewnętrzną statora, długość statora, długość magnesów napędowych oraz grubość magnesów napędowych.

Zależności pomiędzy poszczególnymi elementami zespołu wyznaczane są za pomocą następujących wymiarów:

- D0 określający średnicę wewnętrzną korpusu wirnika 1,
- D1 określający średnicę wewnętrzną magnesów napędowych 2 lub pojedynczego magnesu napędowego 2,
- D2 określający średnicę zewnętrzną magnesów napędowych 2 lub pojedynczego magnesu napędowego 2,
- D3 określający średnicę zewnętrzną korpusu wirnika 1,
- D4 określający średnicę wewnętrzną kanału przepływowego 4,
- D5 określający średnicę zewnętrzną kanału przepływowego 4,
- D6 określający średnicę łączenia zębów stojana 3 z pierścieniem stojana 3,
- D7 określający średnicę zewnętrzną pierścienia stojana 3,
- D8 określający średnicę wewnętrzną pierścienia stojana 3 (dla stojana bez zębów, chociaż średnica występuje również w wariancie z zębami)

i wynoszą, ustalone jako jedna z wartości w przedziale, według następujących zależności:

$$\frac{D7}{D5 + D2 - D1} = 1,4 - 1,7$$

$$\frac{D3}{D0} = 1,1 - 1,3$$

$$\frac{D7}{D4} = 1,4 - 2,0.$$

Zastosowane magnesy napędowe 2 są magnesami neodymowymi dostępnymi pod następującymi oznaczeniami: N30, N33, N35, N38, N40, N42, N45, N48, N50, N52, N55, N33M, N35M, N38M, N40M, N42M, N45M, N48M, N50M, N52M, N30H, N33H, N35H, N38H, N40H, N42H, N45H, N48H, N50H, N30SH, N33SH, N35SH, N38SH, N40SH, N42SH, N45SH, N48SH, N28UH, N30UH, N33UH, N35UH, N38UH, N40UH, N42UH, N45UH, N28EH, N30EH, N33EH, N35EH, N38EH, N40EH, N42EH, N28AH, N30AH, N33AH, N35AH, N38AH, N35X, N35MX, N45MX, N38HX, N40HX, N45HX, N33SHX, N35SHX, N38SHX, N42SHX, N30SHZ, N33SHZ, N35SHZ, N38SHZ, N45SHZ, N30UHZ, N33UHZ, N38UHZ, N40UHZ, N30EHZ, N38EHZ, N30AHZ, bądź magnesami wykonanymi z innych stopów o gęstości energii odpowiadającej gęstości energii ww. magnesów, np. magnesami samarowo-kobaltowymi.

W przykładzie jak na fig. 1 poszczególne wymiary elementów zespołu wynoszą:

- D0 = 14,32 mm,
- D1 = 15,06 mm,
- D2 = 17,46 mm,
- D3 = 18,09 mm,
- D4 = 19,05 mm,
- D5 = 19,85 mm,
- D6 = 28,79 mm,
- D7 = 32,81 mm.

W tabeli przedstawiono nominalne wydatki przepływu pompy wspomagającej pracę serca z zespołem napędowo-łożyskującym według wynalazku.

Średnica zewnętrzna korpusu wirnika [mm]	Zakres nominalnej prędkości obrotowej wirnika [1/min]	Nominalny wydatek przepływu [L/min] (dla różnicy ciśnień pomiędzy wlotem pompy wynoszącej 100 mmHg)
22,1	4000-6000	5
14,8	6000-8000	3

## Przykład II

Jak pokazano na fig. 3 zespół jest wykonany jak w przykładzie I, przy czym cewki umieszczone są pomiędzy statorem bez zębów a zewnętrzną częścią kanału przepływowego 4.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Hybrydowy zespół napędowo-łożyskujący wirnika pompy osiowej zwłaszcza pompy do wspomaganie pracy serca zawierający pierścieniowy stojan zaopatrzony w zęby, na których nawinięte są cewki lub z cewkami umieszczonymi od wewnętrznej strony, nałożony na cylindryczną tuleję kanału przepływowego, wewnątrz której suwliwie umieszczony jest wirnik z łopatkami, które to łopatki są zamocowane od wewnętrznej strony do cylindrycznego korpusu wirnika, w którym to korpusie obwodowo umieszczony jest co najmniej jeden magnes trwały napędowy korzystnie neodymowy **znamienny tym**, że na długości korpusu wirnika (1), powiększonej o zakres roboczego poosiowego przemieszczenia wirnika, średnica wewnętrzna (D4) tulei kanału przepływowego (4) jest stała i ustalona jako jedna z wartości z przedziału od 0,50 do 0,7 zewnętrznej średnicy (D7) pierścienia (5) stojana (3), zaś średnica zewnętrzna (D3) korpusu wirnika (1) jest stała na całej jego długości i ustalona jako jedna z wartości z przedziału od 1,1 do 1,3 wewnętrznej średnicy (D0) korpusu wirnika (1), przy czym zewnętrzna średnica (D7) pierścienia stojana (3) wynosi od 1,4 do 1,7 sumy zewnętrznej średnicy (D5) tulei kanału przepływowego (4) i grubości magnesu napędowego (2), podczas gdy grubość (D2–D1) magnesu napędowego (2) jest stała i ustalona jako jedna z wartości w przedziale, wyznaczona z zależności:

$$\frac{D2 + D1}{D6 + D5 + D2 - D1} = \text{od } 0,55 \text{ do } 0,7$$

gdzie

D1 – średnica wewnętrzna magnesów napędowych lub pojedynczego magnesu napędowego,  
 D2 – średnica zewnętrzna magnesów napędowych lub pojedynczego magnesu napędowego,  
 D5 – średnica zewnętrzna tulei kanału przepływowego (4),  
 D6 – średnica wewnętrzna pierścienia (5) stojana (3).

2. Zespół według zastrz. 1 **znamienny tym**, że korpus wirnika (1) ma obwodowo fazowane krawędzie.

Rysunki

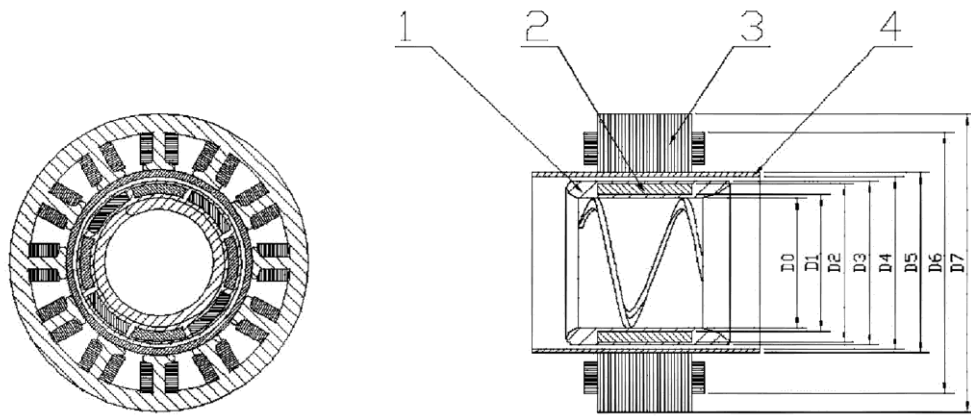


Fig. 1

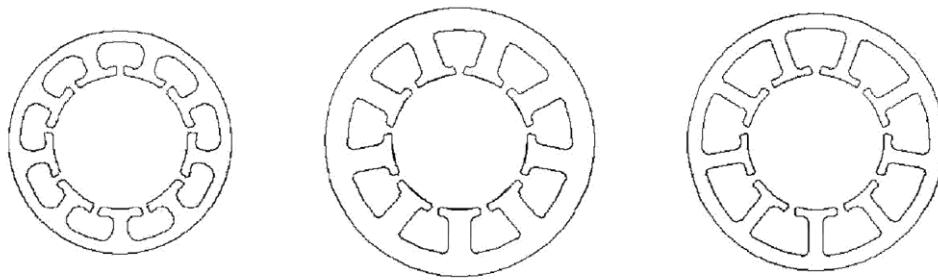


Fig. 2

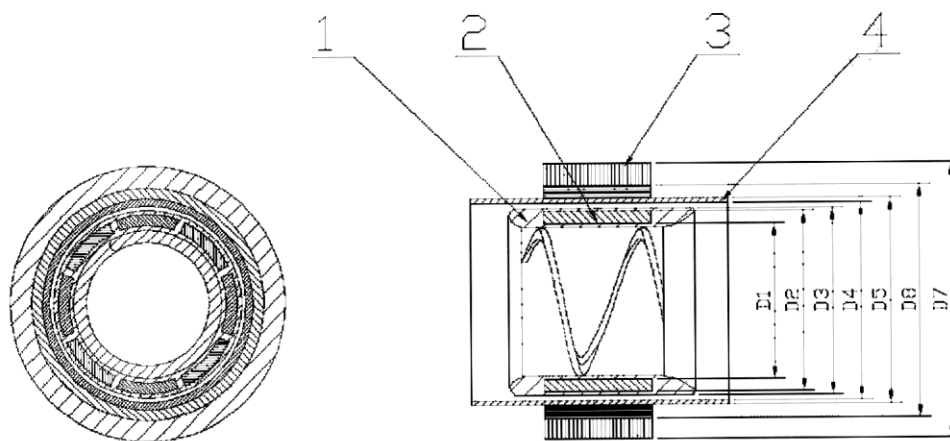


Fig. 3

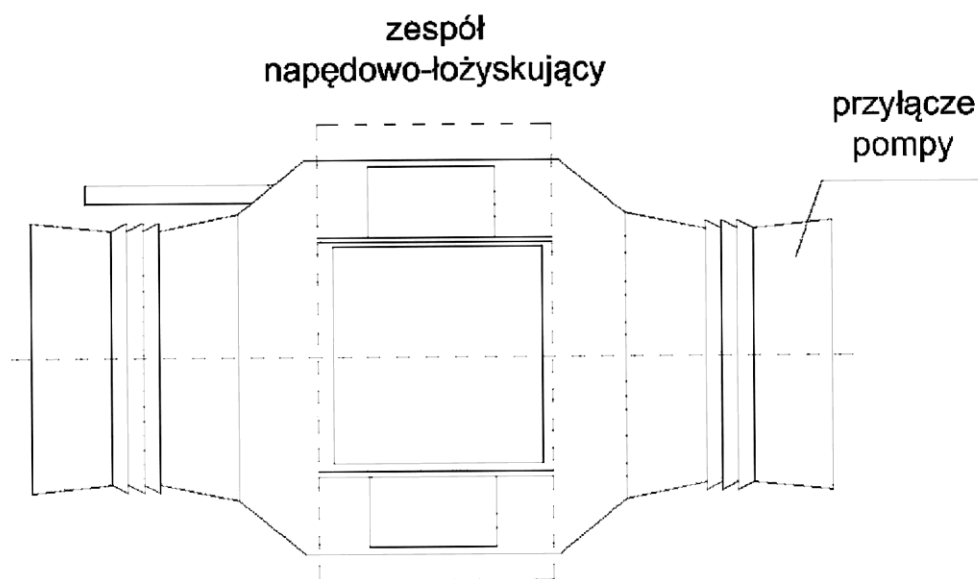


Fig. 4