

Kompensacje promieniowe w pompach o zazębieniu wewnętrznym

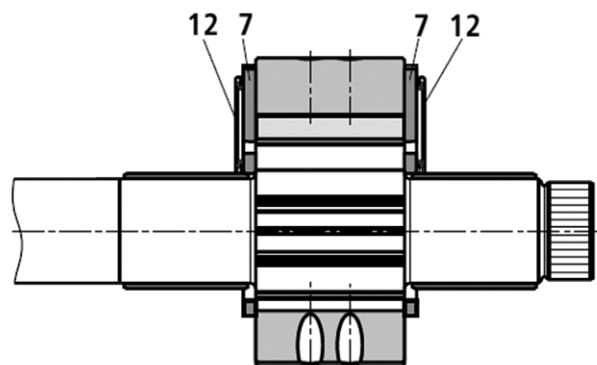
Piotr Osipiński, Michał Stosiak, Paweł Bury, Rafał Cieśllicki, Krzysztof Towarnicki, Piotr Antoniak

Wprowadzenie

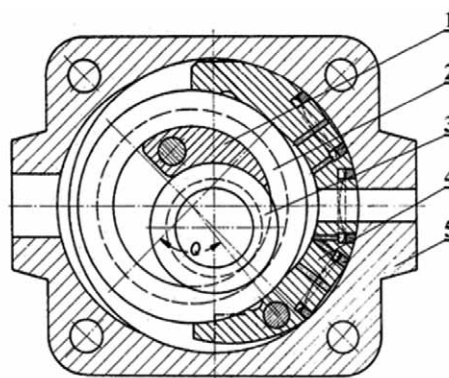
Podstawową zaletą pomp zębatych o zazębieniu wewnętrznym w stosunku do pomp o zazębieniu zewnętrznym jest niższa emisja hałasu, mniejszy współczynnik nierównomierności wydajności oraz bardziej zwarta konstrukcja [1]. Wynika to z płynnej współpracy koła o uzębieniu wewnętrznym oraz koła o uzębieniu zewnętrznym. Uszczelnienie w punkcie styku współpracujących kół na zwiększonym obwodzie kół stykających się z przestrzeniami ssawnymi i tłocznymi prowadzi do zmniejszenia strat napełniania podczas zasysania cieczy. Uwzględniając powyższe zalety, nieustannie dąży się do osiągnięcia coraz wyższych ciśnień tłoczenia przez tego rodzaju pompy [2, 3]. Osiąganie wyższych ciśnień wiąże się z koniecznością zapewnienia wysokiej szczelności wewnętrznej. Miarą szczelności wewnętrznej pompy jest sprawność wolumetryczna. Podwyższenie sprawności wolumetrycznej w pompie zębatej o zazębieniu wewnętrznym można uzyskać poprzez wprowadzenie kompensacji osiowej i promieniowej. Kierunek rozwoju zapoczątkował się od wprowadzenia kompensacji osiowej, która jest już opracowana na wysokim poziomie. Poniżej przedstawiono przykład zastosowanej kompensacji osiowej w pompie firmy Bosch-Rexroth [4].

Kompensacje promieniowe w pompach o zazębieniu wewnętrznym

Od ponad 50 lat w głównej mierze nacisk kładzie się na poprawę kompensacji promieniowej. Firma Otto Eckerle była prekursorem i wiodącym producentem wdrażającym ideę kompensacji luzów promieniowych. W ciągu jednego dziesięciolecia opatentowała blisko dziesięć różnych koncepcji, które znalazły zastosowanie w pompach o zazębieniu wewnętrznym [5]. Patent nr US3525581 [6] z 1968 r. (rys. 2) opisuje pompę o zazębieniu wewnętrznym, zawierającą dodatkowy tłok kompensujący (4), na który oddziałuje ciecz pod ciśnieniem. Nie wielka siła wynikająca z ciśnienia powoduje obrót tłoka wokół sworzni mocującego. Tłok naciska na wieniec zębaty i dociska go do wkładki sierpowej (1). Spowoduje to kontakt koła zębatego (3) z wkładką sierpową. Pozwala to na minimalizację szczeliny obwodowej. Wynalazek wg patentu nr USRE27901 [7] również opiera się o wykorzystanie tłoka wywierającego nacisk na wieniec zębaty. Różnica w stosunku do poprzedniego rozwiązania, polega na zastosowaniu elementów sprężystych, które wprowadzają napięcie wstępne i generują siłę nacisku przy rozruchu, kiedy ciśnienie jest zbyt niskie, by zapewnić odpowiedni poziom kompensacji szczeliny obwodowej. Dodatkowo korpus pompy jest wytaczany mimośrodowo względem



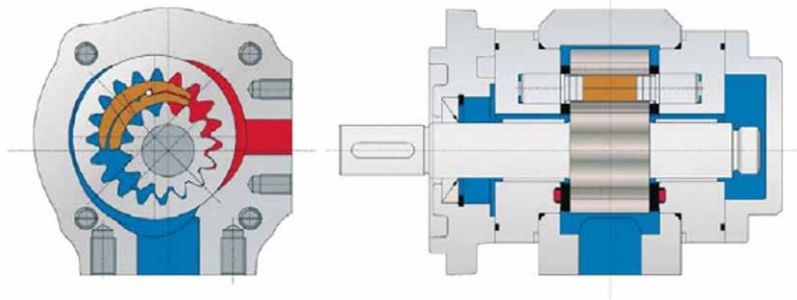
Rys. 1. Kompensacja osiowa w pompie o zazębieniu wewnętrznym:
7 – tarcze osiowe; 12 – powierzchnia tarcz, na którą oddziałuje ciśnienie tłoczenia [4]



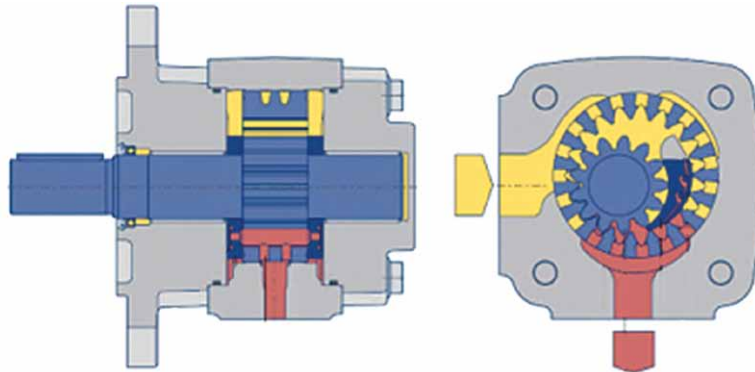
Rys. 2. Pompa zębata o zazębieniu wewnętrznym z kompensacją luzów promieniowych wg patentu nr US3525581 [6] firmy Otto Eckerle z 1968 r.:
1 – wkładka sierpowa; 2 – wieniec zębaty; 3 – koło zębate; 4 – tłok kompensujący mechanicznie luzy promieniowe; 5 – korpus pompy

wału koła zębatego. Takie wykonanie korpusu pozwoliło na uproszczenie konstrukcji tłoka kompensującego (usunięto kanały prowadzące oraz dodatkowe uszczelnienia przestrzeni, na którą oddziałuje ciśnienie). Wynalazki opisane w patentach nr USRE27904 [8] z 1968 r. oraz US3779674 [9] z 1971 r. opierają się na tej samej idei. Kompensacja szczeliny obwodowej, opisana w patencie nr US3912427 [10] z 1974 r., wyróżnia się znacznie uproszczoną konstrukcją. Zrezygnowano z tłoka kompensującego, a sama kompensacja została zaimplementowana na obwodzie koła zębatego. Każdy wierzchołek zęba w wieniec posiada odpowiadające mu pole kompensacji znajdujące się

Rys. 3. Widok przekroju pompy o zazębieniu wewnętrznym z kompensacją promieniową [16]



Rys. 4. Widok przekroju pompy o zazębieniu wewnętrznym z kompensacją promieniową firmy VOITH [17]



na jego obwodzie. Doprowadzona jest do niego ciecz pod ciśnieniem, co zapewnia docisk wieńca do wkładki sierpowej. W patencie nr US4132515 [11] z 1977 r. kompensacja obwodowa realizowana jest przez docisk wkładki sierpowej do koła i wieńca zębatego.

W ślad za ideą kompensacji promieniowej w pompach firmy Otto Eckerle, również w pompach zębatych o zazębieniu zewnętrznym, pojawiły się elementy kompensujące, które dociskane są do wierzchołków zębów. Przykładem mogą być tu rozwiązania takich firm, jak Bosch (patent nr US3995975 [12] z 1975 r.), Tyrone Hydraulics (patent nr US4266915 [13] oraz WO8101315 [14] z 1979 r., US4336005 [15] z 1980 r.) i inne.

Dalsze prace w tym kierunku doprowadziły do zbudowania prototypu pompy, która została wprowadzona do masowej produkcji. Maksymalne chwilowe ciśnienie osiągnięte przez taką pompę wynosi 40 MPa. Poniżej przedstawiono widok seryjnie produkowanej pompy firmy ECKERLE.

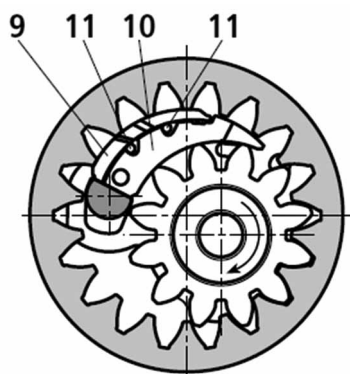
Przedstawione rozwiązanie opiera się na wykonaniu wkładki sierpowej z dwóch elementów, opierających się na kołku. Wahliwe zamontowanie elementów wkładki umożliwia zmniejszenie luzu między bieżnią oraz wierzchołkami zębów koła zębatego w zależności od ciśnienia tłoczenia. Istotną cechą rozwiązania jest ukształtowanie komór, odpowiednio połączonych z przestrzenią ssawną oraz tłoczną. Dzięki takiemu rozwiązaniu otrzymuje się zrównoważenie sił działających na uzębiony pierścień, których wartość zmienia się wraz ze zmianą ciśnienia tłoczenia.

Podobne rozwiązanie zostało zgłoszone w 2003 roku, również w niemieckim urzędzie patentowym, przez firmę VOITH. Zgodnie z zastrzeżeniami patentu o numerze DE10334954 [17] opracowana wkładka sierpowa składa się z dwóch części ułożonych promieniowo obok siebie. Pomiędzy elementami wkładki powstaje przestrzeń, która połączona jest z komorą tłoczną pompy. Zasada działania jest analogiczna jak w rozwiązaniu

ECKERLE, czyli różnica ciśnień powstała pomiędzy wewnętrzną a zewnętrzną częścią wkładki powoduje docisk bieżni wkładki do wierzchołków kół zębatych, zmniejszając luz promieniowy.

reklama

reklama



Rys. 5. Widok przekroju pompy o zazębieniu wewnętrznym z kompensacją promieniową firmy Bosch:

9 - segment; 10 - wspornik segmentu; 11 - rolki uszczelniające [4]

Powyższe rozwiązanie pozwoliło firmie VOITH wprowadzić na rynek kilka serii pomp, z których jedna może osiągać chwilowe ciśnienia do 34,5 MPa. Na rysunku 4 przedstawiono przekrój przez pompę firmy VOITH.

Producent pomp Bosch-Rexroth również w swojej ofercie pomp o zazębieniu wewnętrznym posiada autorskie rozwiązanie dotyczące kompensacji promieniowej, które zostało przedstawione poniżej na rys. 5

Powyższe rozwiązanie opiera się na użyciu dodatkowych rolek uszczelniających, znajdujących się we wkładce sierpowej, dzięki czemu uzyskuje się regulowany docisk wsporników segmentu do wierzchołków kół zębatych.


Podsumowanie

Obecny kierunek dotyczący budowy hydraulicznych układów napędowych skierowany jest do osiągania wysokich ciśnień tłoczenia przez pompy wyporowe. Powoduje to zmniejszenie powierzchni elementów kinematycznych odbiorników hydraulicznych, szczególnie dotyczy to średnic w siłownikach hydraulicznych. Uzyskuje się dzięki temu znaczny wzrost współczynnika stosunku przenoszonej mocy do masy. Konieczna zatem staje się budowa pomp pozwalających na generowanie wyższych ciśnień tłoczenia przy zachowaniu sprawności na wysokim poziomie. Stosowanie pomp z uzębieniem wewnętrznym staje się coraz bardziej popularne ze względu na mniejszą hałaśliwość, wynikającą z dużego stopnia pokrycia zębów, oraz mniejsze straty napełniania. Niewątpliwie ważnym parametrem pozwalającym zwiększyć ciśnienie tłoczenia przez pompę jest sprawność wolumetryczna. W przypadku pompy zębatej o zazębieniu wewnętrznym istotne jest, aby wyposażyć ją w kompensację osiową oraz promieniową. Kompensacja osiowa została wprowadzona jako pierwsza, a następnie przez wiele lat była ulepszana, uzyskując wysokie parametry szczelności oraz trwałości. Natomiast kompensacja promieniowa jest nadal modyfikowana, aby osiągnąć wysoką sprawność wolumetryczną przy zachowaniu sprawności hydrauliczno-mechanicznej. Istotne są również trwałość oraz koszt wykonania takiego rozwiązania. W niniejszej pracy przedstawiono przykłady kompensacji promieniowych w zatwierdzonych rozwiązaniach patentowych, jak

również w dostępnych na rynku pompach oferowanych przez znanych producentów.

Literatura

- [1] STRYCZEK J.: *Koła zębate maszyn hydraulicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [2] RUNDO M.: *Theoretical flow rate in crescent pumps*. „Simulation Modelling Practice and Theory”, Volume 71, 2017.
- [3] LAMBECK R.P.: *Hydraulic pumps and motors*. Marcel Dekker INC, New York 1983.
- [4] Katalog produktowy pomp o zazębieniu wewnętrznym PGH 3X firmy Bosch-Rexroth.
- [5] OSINSKI P.: *Wysokosprawnościowe pompy zębate*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019.
- [6] ECKERLE O.: Patent US nr 3525581, Wear and tear-compensating high-pressure gear pump, (1967), <https://patents.google.com/patent/US3525581A>.
- [7] ECKERLE O.: Patent US nr RE27901, Wear (and tear) compensating high-pressure gear pump, (1974), <https://patents.google.com/patent/USRE27901E>.
- [8] ECKERLE O.: Patent US nr RE27904, Wear (and tear) compensating high-pressure gear pump, (1974), <https://patents.google.com/patent/USRE27904E>.
- [9] ECKERLE O., JUNG R.: Patent US nr 3779674, High-pressure gear pump, (1973), <https://patents.google.com/patent/US3779674A>.
- [10] ECKERLE O., JUNG R.: Patent US nr 3912427, (1975), <https://patents.google.com/patent/US3912427A>.
- [11] ECKERLE O.: Patent US nr 4132514, High pressure hydraulic pump and motor,, (1976), <https://patents.google.com/patent/US4132514A>.
- [12] BOSCH P.: Patent US nr 3995975, Gear pump, (1974), <https://patents.google.com/patent/US3995975A>.
- [13] MCBURNETT J.R., ELEY J.M.: Patent US nr 4266915, Gear pumps and motors, (1978), <https://patents.google.com/patent/US4266915A>.
- [14] ELEY J.M., JOYCE A.: Patent WO nr 8101315, Contaminant resistant gear pumps and motors, (1979) <https://patents.google.com/patent/WO1981001315A1>.
- [15] MCBURNETT J., ELEY J.M.: Patent US nr 4336005, Gear pumps and motors, (1979), <https://patents.google.com/patent/US4336005A>.
- [16] Katalog produktowy pomp o zazębieniu wewnętrznym EIPH2 firmy ECKERLE HYDRAULIC DIVISION.
- [17] ARBOGAST F., PEIZ P.: Patent DE nr 10334954, Hydropumpe (2003), <https://patents.google.com/patent/DE10334954A1>.
- [18] Katalog produktowy pomp o zazębieniu wewnętrznym IPVA firmy VOITH GROUP.

 Piotr Osiński, Michał Stosiak, Paweł Bury, Rafał Cieśliski, Krzysztof Towarnicki (autor korespondencyjny, krzysztof.towarnicki@pwr.edu.pl) – Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych; Piotr Antoniak – Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych