

# Rezultaty badań rozwojowych hydraulicznych silników satelitowych typoszeregu SM

Paweł Śliwiński

**Ciężkie warunki pracy układów napędowych i urządzeń hydraulicznych małej mechanizacji w przemyśle wydobywczym, gdzie czynnikiem roboczym jest emulsja oleju w wodzie typu HFA-E, stanowią potrzebę projektowania i produkowania nowych, ergonomicznych urządzeń z napędem hydraulicznym cechujących się wysoką sprawnością i trwałością.**

Wychodząc naprzeciw potrzebom górnictwa i mając na uwadze warunki pracy urządzeń górniczych, firma Stosowanie Maszyn rozpoczęła kilka lat temu produkcję małogabarytowych silników satelitowych typu SM, według własnego rozwiązania konstrukcyjnego [15], dostosowując je do pracy zwłaszcza przy zasilaniu ubogimi emulsjami HFA-E. Obecnie typoszereg silników SM obejmuje wielkości o objętościach roboczych od 1,8 do 200 cm<sup>3</sup>/obr., a w planach produkcyjnych są większe silniki o objętościach roboczych do 420 cm<sup>3</sup>/obr.

W 2007 r. Katedra Hydrauliki i Pneumatyki Politechniki Gdańskiej podjęła współpracę z firmą Stosowanie Maszyn z Katowic, w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R0300103, pt. „Badania rozwojowe hydraulicznych silników i pomp satelitowych o małych objętościach roboczych zasilanych wodą, emulsją i olejem”. Obecnie projekt ten został zakończony, a jego rezultatem jest:


- udoskonalenie konstrukcji silników SM o teoretycznej objętości roboczej: 5,5; 14,5; 20,9 i 33 cm<sup>3</sup>/obr., której odpowiadają moduły zębów mechanizmu satelitowego: 0,4; 0,5; 0,6 i 0,75 oraz wysokości mechanizmu 15 mm dla najmniejszego silnika i 25 mm dla pozostałych;
- zaprojektowanie i zbudowanie pierwszych w świecie samosąsiednich pomp satelitowych PSM o module zębów: 0,4; 0,5; 0,6 i 0,75 i odpowiadającym im teoretycznych objętości roboczych: 5,3; 8,6; 12,4; 18,6 cm<sup>3</sup>/obr.;
- przeprowadzenie badań i opracowanie charakterystyk eksploatacyjnych silników i pomp pracujących z olejem, emulsją HFA-E i wodą jako czynnikami roboczymi.

Należy podkreślić, że silniki SM i pompy PSM mogą być stosowane zarówno w instalacjach olejowych, emulsyjnych i wodnych bez wprowadzania dodatkowych zabiegów ingerujących w ich konstrukcję. Nominalne ciśnienie pracy silników typoszeregu SM to 25 MPa, chwilowe maksymalnie do 32 MPa, zaś nominalna prędkość obrotowa to 1920 obr./min dla silnika SM-0,4 i 1500 obr./min dla silników SM-0,5, SM-0,6 i SM-0,75.

Stosowanie emulsji HFA-E oraz wody, zamiast oleju, do zasilania silników hydraulicznych powoduje wzrost strat objętościowych oraz mechanicznych, co w efekcie skutkuje obniżeniem sprawności przetwarzania energii w silnikach. Wiąże się to z niższą lepkością emulsji i wody, większą gęstością

**Streszczenie:** Opisano najnowszą konstrukcję hydraulicznych silników satelitowych typoszeregu SM, o małych objętościach roboczych od 5–34 cm<sup>3</sup>/obr. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych jednego, wybranego z typoszeregu, silnika zasilanego olejem, emulsją oleju w wodzie typu HFA-E oraz wodą. Ze względu na jednakową konstrukcję wszystkich silników typoszeregu sprawności tych silników przyjmują podobne wartości. Porównano również silniki satelitowe z silnikami gerotorowymi pod kątem zarówno ich parametrów technicznych jak i osiąganych sprawności.

Prace nad silnikami SM zostały wykonane w Katedrze Hydrauliki i Pneumatyki Politechniki Gdańskiej w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R0300103, finansowanego przez MNiSzW, pt.: „Badania rozwojowe hydraulicznych silników i pomp satelitowych o małych objętościach roboczych zasilanych wodą, emulsją i olejem”, którego kierownikiem jest dr hab. inż. Andrzej Balawender, prof. PG. Projekt realizowany jest we współpracy z firmą Stosowanie Maszyn z Katowic.

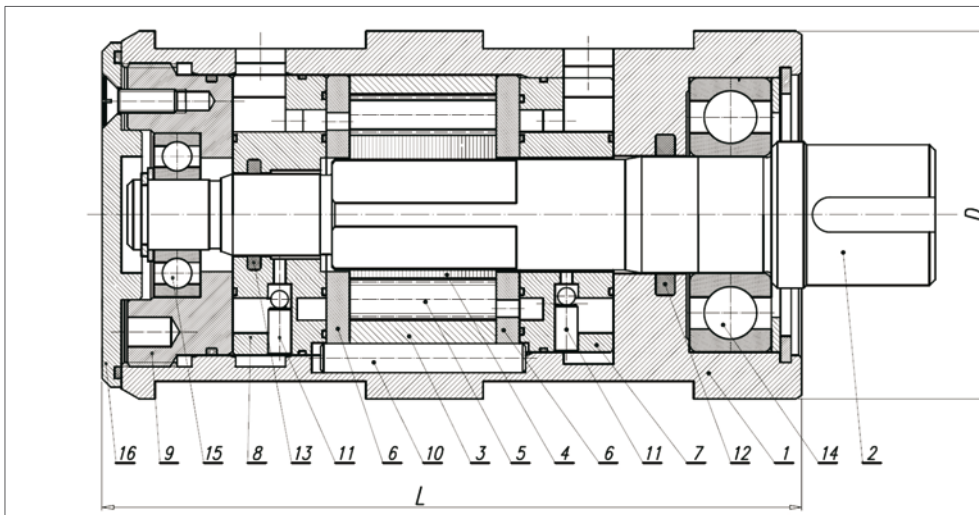
 **Abstract:** In article the newest construction of hydraulic satellite motors series of types SM, with small geometrical displacement from 5 to 33 cm<sup>3</sup>/rev has been described. Results of research of one motor, choosen from series of types, supplied with oil, emulsion HFA-E and water has been presented. For the sake of equal construction of all motors, efficiencies are similar. Satellite motors were compared with orbital motors taking technical parameters and efficiencies under consideration.

Research and development works were done within a framework of research project nr R0300103 entitled “Developmental research of hydraulic satellite motors and pumps with small geometrical displacement supplied with water, emulsion and oil”. Project was financed by Ministry of Science and Higher Education. The manager of the project was Andrzej Balawender, professor of Gdansk University of Technology.

i gorszymi własnościami smarnymi w porównaniu z olejem [4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12].

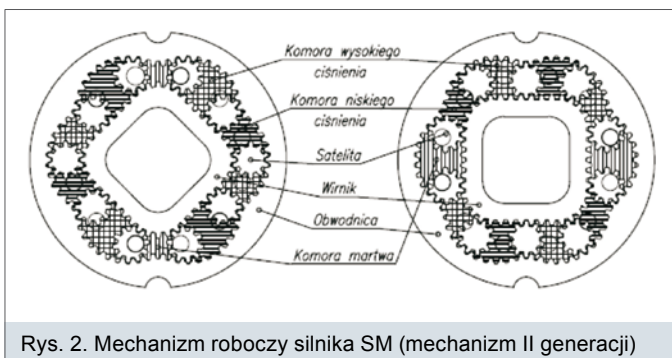
## Budowa silników SM

Najnowszą konstrukcję silników typoszeregu SM przedstawiono na rys. 1. W zależności od wielkości tych silników zawierają one mechanizm roboczy, przedstawiony na rys. 2, o modułach zębów  $m = 0,4$ ;  $m = 0,5$ ;  $m = 0,6$  i  $m = 0,75$ .



Rys. 1. Budowa silników typoszerogu SM:

- 1 – korpus;
- 2 – wał;
- 3 – obwodnia;
- 4 – wirnik;
- 5 – satelita;
- 6 – płytki rozrządu (kompensacyjne);
- 7 – kolektor przedni;
- 8 – kolektor tylny;
- 9 – docisk;
- 10 – kołek ustalający;
- 11 – zawory zwrotne;
- 12 i 13 – uszczelki;
- 14 i 15 – łożyska;
- 16 – pokrywa



Rys. 2. Mechanizm roboczy silnika SM (mechanizm II generacji)

Silniki satelitarne typoszerogu SM są silnikami z kompensacją luzów osiowych. W stosunku do pierwotnych znanych rozwiązań silników SM, opisanych m.in. w [3, 11, 13], w obecnych silnikach zastosowano kolektor przedni 7 jako niezależny element montowany w korpusie 1, wyeliminowano uszczelnienie czołowe wirnika 4, standardowe uszczelki (tzw. simmeringi) zastąpiono wysokociśnieniowymi uszczelnieniami wału 12 i 13 oraz zastosowano zawory zwrotne 11. Wyeliminowanie uszczelnienia czołowego wirnika skutkuje dodatkowym przeciekaniem z komór roboczych do przestrzeni wału, skąd przeciek ten jest odprowadzany zaworami zwrotnymi 11 zawsze do kanału niskiego ciśnienia, niezależnie od kierunku zasilania silnika (a tym samym niezależnie od kierunku jego prędkości obrotowej). Wartość montażowego luzu osiowego wirnika 4 i satelitów 5 w stosunku do obwodnicy 3 we wszystkich silnikach zmniejszono do  $5\ \mu\text{m}$ . Ponadto przekonstruowano kształt kanałów dopływu i odpływu w płytce 6, minimalizując w ten sposób opory przepływu w tych kanałach. Kształt ten jest przedmiotem zgłoszenia patentowego przygotowywanego równoległe z niniejszym artykułem.

Dodatkowym zabiegiem była zmiana pola przekroju wału z mniejszego kołowego na większy „kwadratowy”, co zwiększyło czynny przekrój wału, a tym samym jego wytrzymałość na skręcanie.

Wymiary gabarytowe oraz masę wybranych silników SM przedstawiono w tabeli 1.

### Silniki badane i parametry mierzone

W Katedrze Hydrauliki i Pneumatyki Politechniki Gdańskiej, w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R0300103 badano następujące silniki satelitarne:

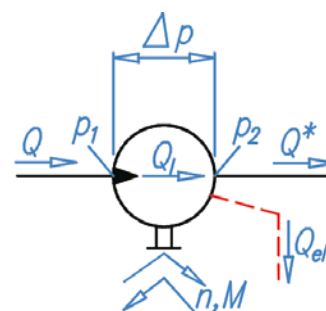
- SM-0,4/15 ( $q = 5,5\ \text{cm}^3/\text{obr.}$ );
- SM-0,5/25 ( $q = 14,5\ \text{cm}^3/\text{obr.}$ );
- SM-0,6/25 ( $q = 20,9\ \text{cm}^3/\text{obr.}$ );
- SM-0,75/25 ( $q = 33,0\ \text{cm}^3/\text{obr.}$ ).

Badania powyższych silników przeprowadzono z użyciem:

- oleju Total Azolla 46 (o temp. na dopływie do silnika  $43^\circ\text{C}$  i lepkości kinematycznej  $\nu = 40\text{cSt}$ );
- emulsji HFA-E przygotowanej na bazie koncentratu Isosynth VX110BF (1% koncentratu w wodzie) (badania przy temp. emulsji  $30^\circ\text{C}$  i lepkości kinematycznej  $\nu = 0,86\text{cSt}$ );
- wody wodociągowej (badania przy temp. wody  $30^\circ\text{C}$  i lepkości kinematycznej  $\nu = 0,80\text{cSt}$ ).

W trakcie badań silnika mierzono następujące parametry (rys. 3):

- natężenie przepływu  $Q$  w [l/min] na dopływie do silnika (chłonność silnika) lub natężenie przepływu  $Q^*$ , w [l/min], na odpływie z silnika;
- ciśnienie  $p_1$  i  $p_2$  w [MPa];
- prędkość obrotową wału  $n$  w [obr./min];
- obciążenie silnika (moment obrotowy)  $M$  w [Nm];
- temperaturę cieczy w przyłączy dopływowym silnika.



Rys. 3. Parametry mierzone w silniku badanym

Tabela 1. Wymiary gabarytowe oraz masa wybranych silników SM z przyłączami hydraulicznymi

	SM-0,4/15	SM-0,5/25	SM-0,6/25	SM-0,75/25
Średnica D [mm]	47	55	63	75
Długość L [mm]	90	107	119	132
Masa [kg]	1,0	1,8	2,6	4,4

W dalszej części niniejszej publikacji zostaną przedstawione, jako przykładowe, charakterystyki silnika SM-0,75/25. Należy zaznaczyć, że charakterystyki strat objętościowych, mechanicznych, ciśnieniowych i charakterystyki sprawności dla pozostałych silników mają niewiele różniące się przebiegi od charakterystyk silnika SM-0,75/25, zaś wartości sprawności nieznacznie maleją dla silników o mniejszych modułach zębów.

### Straty objętościowe

Straty objętościowe  $Q_s$  w badanych silnikach hydraulicznych są wynikiem przecieków w szczelinach mechanizmu roboczego, przemieszczania się satelitów w granicach luzu międzyzębnego i ściśliwości cieczy w komorach roboczych. Straty objętościowe zależą od różnicy ciśnienia występującego w komorach roboczych, zależą również od różnicy ciśnienia w komorze wału oraz rosną wraz ze wzrostem prędkości obrotowej [1, 2, 5, 6, 7, 9, 11].

Wyniki badań silników satelitowych pokazały, że głównymi czynnikami mającymi wpływ na wartość strat objętościowych są: różnica ciśnień w komorach roboczych  $\Delta p_w$ , rodzaj i lepkość cieczy oraz prędkość obrotowa. Straty objętościowe można opisać równaniem:

$$Q_s = Q - q \cdot n \quad (1)$$

We wszystkich silnikach satelitowych typoszeregu SM przecieki są odprowadzane do kanału odpływu, a więc  $Q = Q^*$  (rys. 3).

Charakterystyki strat objętościowych w badanym silniku SM zasilanym olejem, emulsją HFA-E i wodą przedstawiono na rys. 4.

Biorąc pod uwagę jedynie lepkość cieczy i laminarny charakter przepływu oleju i emulsji w szczelinach, stosunek strat objętościowych emulsji i oleju wynosiłby ok. 40. W rzeczywistości w szczelinach mechanizmu roboczego silnika zasilanego emulsją, praktycznie w całym zakresie spadku ciśnienia, występuje przepływ turbulentny niezupełnie rozwinięty [7, 9, 12]. Tak więc straty objętościowe w silniku zasilanym emulsją i wodą są co najwyżej kilkanaście razy większe w porównaniu do strat objętościowych w tym samym silniku zasilanym olejem.

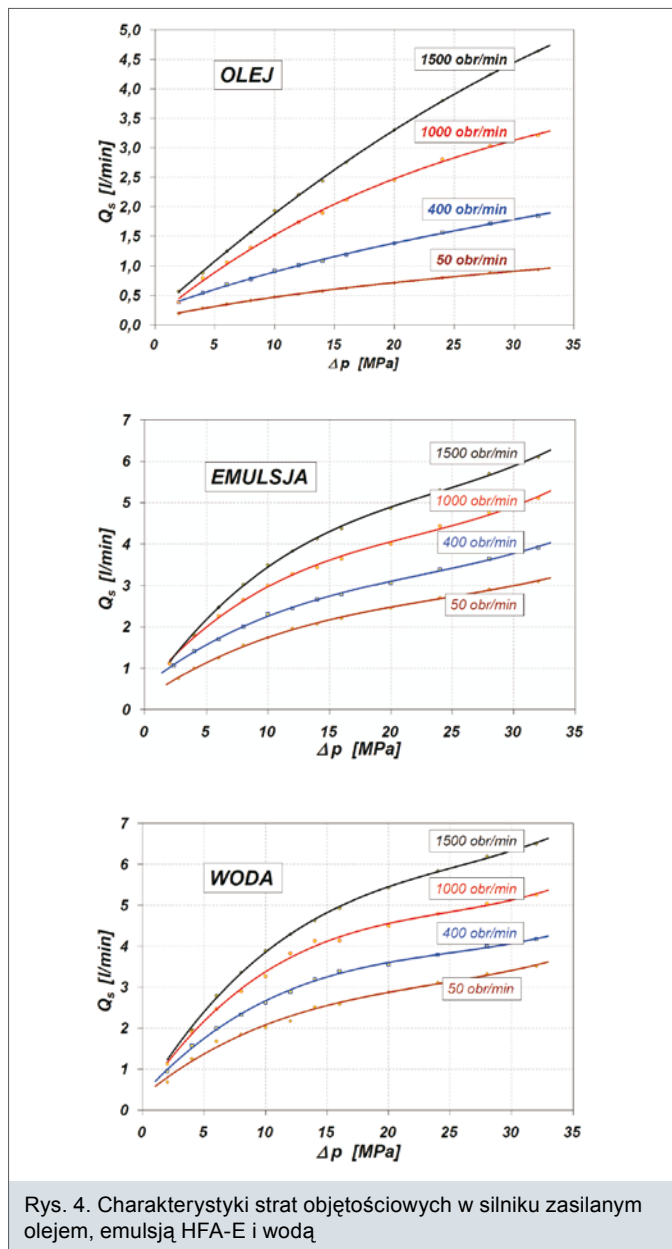
### Straty mechaniczne

Moment strat mechanicznych  $M_s$  w silniku hydraulicznym, dla  $Q = \text{const}$ , zależy od obciążenia silnika  $M$ , prędkości obrotowej  $n$  oraz własności smarnych cieczy roboczej [5, 6]. Moment ten można opisać równaniem:

$$M_s = \frac{q \cdot \Delta p_w}{2 \cdot \pi} - M \quad (2)$$

Moment strat mechanicznych jest efektem sił tarcia mechanicznego, sił bezwładności elementów mechanizmu roboczego, sił bezwładności cieczy zamkniętej w komorach mechanizmu roboczego oraz tarcia lepkiego cieczy w szczelinach.

Charakterystyki momentu strat mechanicznych w badanym silniku SM zasilanym olejem, emulsją HFA-E i wodą przedstawiono na rys. 5. Emulsja HFA-E i woda jako cieczy robocze wykazują gorsze właściwości smarne niż olej [4, 10, 11]. Tak więc moment strat mechanicznych jest największy w silnikach zasilanych wodą, zwłaszcza w zakresie wysokich obciążeń.



Rys. 4. Charakterystyki strat objętościowych w silniku zasilanym olejem, emulsją HFA-E i wodą

### Straty ciśnienia w kanałach wewnętrznych

Straty ciśnienia  $\Delta p_{kw}$  w kanałach wewnętrznych (dopływowych i odpływowych) silników hydraulicznych zależą od wartości natężenia przepływu  $Q$  i  $Q^*$  oraz od lepkości  $\nu$  i gęstości cieczy  $\rho$  [5, 6, 8, 11, 13]:

$$\Delta p_{kw} = f(Q, \nu, \rho) \quad (3)$$

Badania laboratoryjne silników satelitowych typoszeregu HS, typoszeregu HF, jak i w pierwszych silnikach SM wykazały, że przepływ oleju i emulsji w kanałach wewnętrznych był przepływem turbulentnym, nie w pełni rozwiniętym. Czyli dominującym parametrem cieczy wpływającym na wartość oporów przepływu w kanałach wewnętrznych była gęstość. Ponieważ gęstość emulsji jest większa od gęstości oleju, więc straty ciśnienia w kanałach wewnętrznych silników HS i HF były wyższe dla emulsji niż dla oleju [11]. Głównym tego powodem były niedostateczne pola przekroju poprzecznego kanałów wewnętrznych w tych silnikach, co powodowało duże prędkości przepływu cieczy i jej turbulencję.

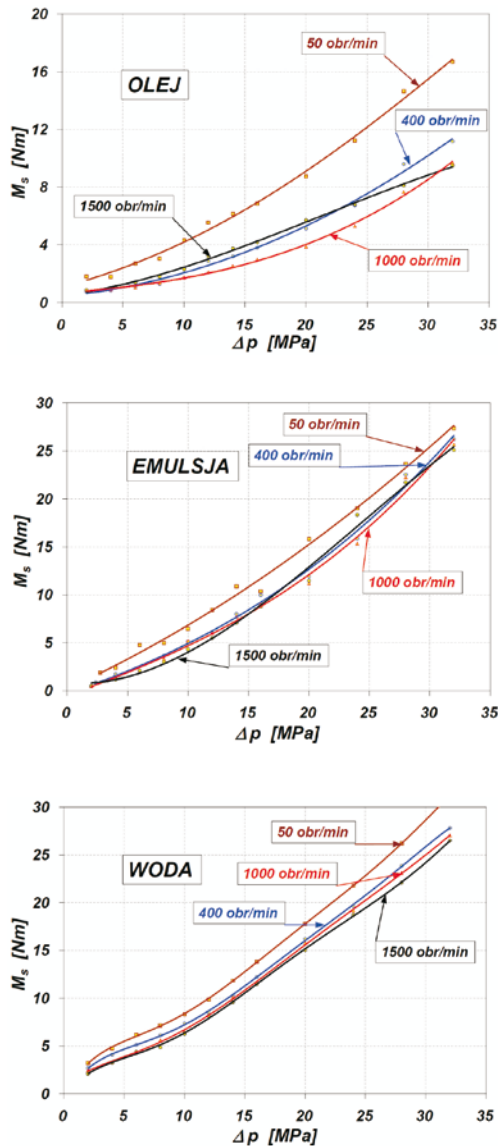
## Czujniki indukcyjne na wysoką temperaturę

# RECHNER

- Temperatura pracy do 150-180 °C
- Rozmiary od M12 do M30
- Wyjście PNR, NO
- Kabel 2 m lub 5 m



pl. Wolności 7b, 50-071 Wrocław  
 tel.: +48 71 / 343 97 55, 344 25 32  
 fax: +48 71 / 343 96 64, 344 11 41  
[www.eltron.pl](http://www.eltron.pl)



Rys. 5. Charakterystyki momentu strat mechanicznych w silniku zasilanym olejem, emulsją HFA-E i wodą

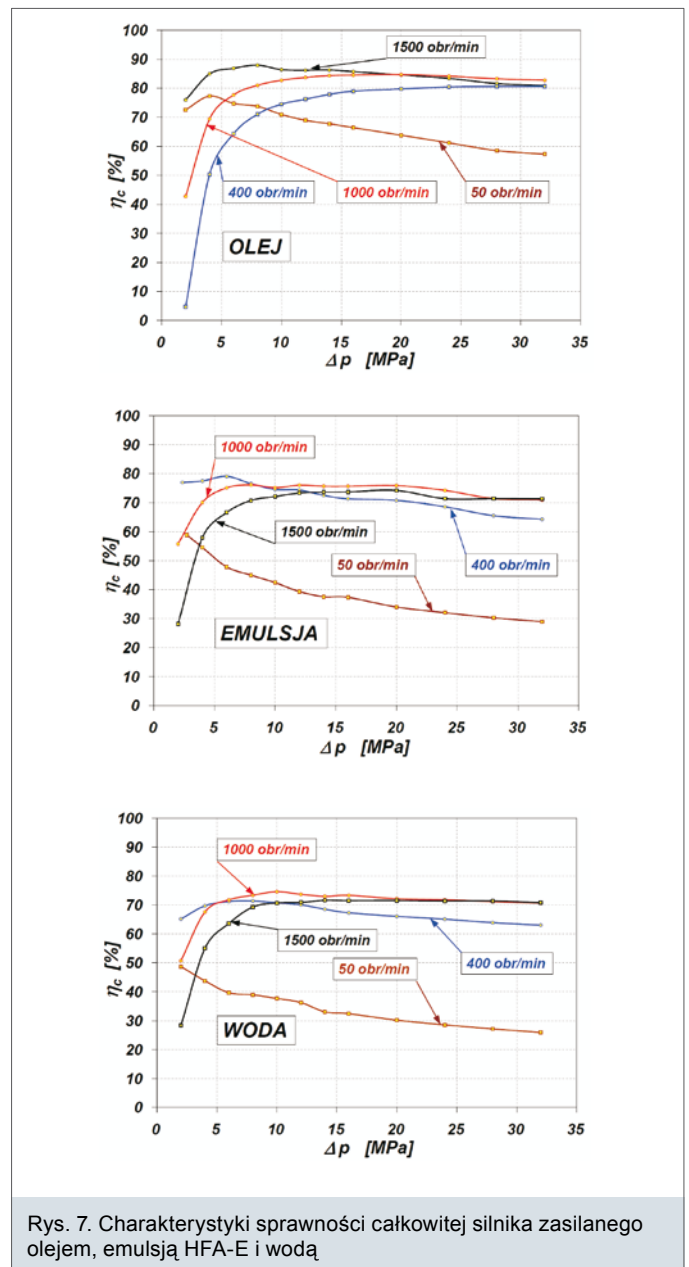
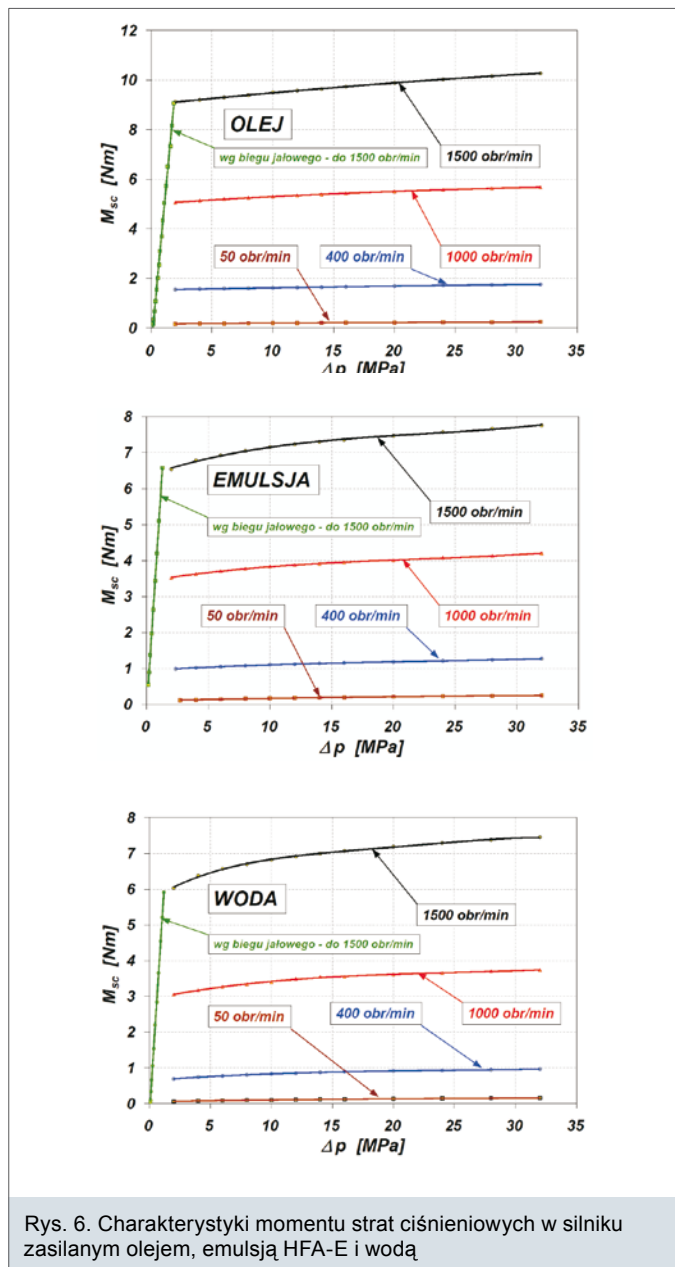
W najnowszym rozwiązaniu silników SM (rys. 1) maksymalnie powiększono kanały wewnętrzne, uzyskując bardzo małe spadki ciśnienia w tych kanałach.

Wraz ze wzrostem obciążenia silnika rośnie spadek ciśnienia w silniku, a tym samym rosną straty objętościowe. A więc dla zachowania stałej prędkości obrotowej należy do silnika dostarczyć większy strumień cieczy. Z kolei przyrost strumienia cieczy, przy  $n = \text{const}$ , powoduje przyrost spadku ciśnienia w kanałach wewnętrznych i tym samym przyrost strat ciśnieniowych. Moment strat ciśnieniowych, który jest wprost proporcjonalny do spadku ciśnienia w kanałach wewnętrznych, ma wartość:

$$M_{sc} = \frac{q}{2\pi} \cdot \Delta p_{kw} \quad (4)$$

Wraz ze wzrostem obciążenia silnika, którego bezpośrednim mierzalnym parametrem jest spadek ciśnienia w silniku, występuje wzrost momentu strat ciśnieniowych, co zostało zobrazowane na rys. 6.

Dla silnika SM zasilanego wodą i emulsją spadek ciśnienia w kanałach wewnętrznych jest porównywalny. Silnik ten zasilany olejem cechuje się natomiast większym spadkiem ciśnienia



nia w kanałach wewnętrznych. Tym samym największy moment strat ciśnieniowych występuje w silniku zasilanym olejem.

### Sprawność całkowita

Straty objętościowe, mechaniczne i ciśnieniowe w silniku mają wpływ na jego sprawność całkowitą. Wpływ oleju, emulsji HFA-E i wody na sprawność całkowitą przedstawiono na rys. 7. Najgorszą sprawność silniki satelitowe osiągają przy zasilaniu wodą, gdyż woda cechuje się najniższą lepkością oraz najgorszymi własnościami smarowymi spośród rozpatrywanych cieczy. Niemniej jednak sprawność całkowita rozpatrywanego silnika SM-0,75/25 pracującego przy parametrach nominalnych ( $n = 1500$  obr./min i  $\Delta p = 25$  MPa) wynosi:

- 81% przy zasilaniu olejem;
- 72% przy zasilaniu emulsją HFA-E;
- 71% przy zasilaniu wodą.

Z powyższego wynika, że stosując do zasilania silników satelitowych typoszeregu SM emulsję HFA-E i wodę zamiast oleju, należy spodziewać się niższej sprawności całkowitej o ok. 10%.

### Porównanie silników SM z silnikami gerotorowymi

Silniki satelitowe są wyrobem konkurencyjnym dla silników gerotorowych. Zarówno silniki satelitowe, jak i gerotorowe są obecnie powszechnie stosowane w przemyśle wydobywczym, zwłaszcza w napędach hydraulicznych maszyn i urządzeń tzw. małej mechanizacji górniczej.

Według danych producentów silniki gerotorowe są silnikami przeznaczonymi do pracy z olejem jako czynnikiem roboczym. Pomimo to znane są przypadki stosowania ich, przez producentów narzędzi, w górnictwie przy zasilaniu emulsjami HFA-E. Wynika to stąd, że jak dotąd brak był na rynku krajowym innych dostępnych silników o małej objętości roboczej, o małej masie i wymiarach.

Niska lepkość emulsji HFA-E, zbliżona do lepkości wody, gorsze jej własności smarowe oraz niska higiena układu hydraulicznego powoduje, że trwałość silników gerotorowych, zwłaszcza ich mechanizmu roboczego, jest niewielka. Problem ten został dogłębnie zbadany i opisany przez J. Urbańczyka w pracy doktorskiej „Badania silników hydraulicznych dla potrzeb małej

mechanizacji w górnictwie” zrealizowanej w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie [12]. Główną przyczyną zużycia mechanizmu roboczego silnika gerotorowego jest duża prędkość poślizgu gerolera (lub gerotora) po powierzchni obwiedni z naciskiem powierzchniowym tym wyższym, im większa jest prędkość obrotowa (większa siła odśrodkowa działająca na obracający się mimośrodowo geroler (gerotor) oraz im wyższe jest ciśnienie robocze.

Należy podkreślić, że silnik satelitowy ma korzystniejsze warunki pracy, szczególnie przy zasilaniu cieczami o niskiej lepkości. Wynika to wprost z zasady współpracy elementów mechanizmu roboczego o użębieniu ewolwentowym, która polega na wzajemnym przemieszczaniu się części współpracujących na zasadzie toczenia, a nie poślizgu, jak to ma miejsce w silnikach gerotorowych.

Nominalne ciśnienie robocze silników gerotorowych zasilanych olejem nie przekracza kilkunastu MPa (w zależności od wielkości silnika). W opinii J. Urbańczyka, badającego silnik gerotorowy Eaton Char-Lynn J-2-129 zasilany emulsją HFA-E, ciśnienie pracy silników gerotorowych zasilanych emulsją nie powinno przekraczać 10 MPa [12]. W górniczych magistralach hydraulicznych występują natomiast ciśnienia nawet do 32 MPa. Wobec tego koniecznością jest stosowanie przed silnikiem gerotorowym dodatkowego zaworu redukcyjnego, co podnosi koszt i pogarsza walory układu.

Poza ograniczeniem ciśnienia pracy silników gerotorowych do 10 MPa, J. Urbańczyk zaleca również ograniczenie prędkości obrotowej silnika do  $n_{max} = 860$  obr./min [12]. Czyli parametry pracy silnika gerotorowego zasilanego emulsją powinny być ograniczone o ponad 30% w stosunku do nominalnych parametrów silnika zasilanego olejem. J. Urbańczyk dowiódł, że dopiero przy tak obniżonych parametrach pracy silnik gerotorowy J-2-129 może być zasilany emulsją. Wykazał jednak znacznie niższą trwałość w stosunku do eksploatacji przy zasilaniu olejem [12].

Celem poprawy sprawności i trwałości silników gerotorowych eksploatowanych w emulsyjnych urządzeniach górniczych, podejmowane również były przez J. Urbańczyka próby specjalnych zabiegów technologicznych o charakterze indywidualnych działań. Na przykład w mechanizmie roboczym stosował specjalne smary oraz azotowanie plazmowe elementów. Uzyskał jednak połowiczne efekty. Należy dodać, że każda taka specjalna ingerencja w hydrauliczny silnik olejowy, poza producentem, mająca na celu przystosowanie go do pracy z emulsją, nie zapewnia jednoznacznych własności silnika i podnosi jego cenę.

Jak dotąd producenci silników gerotorowych nie podają w swoich materiałach charakterystyk tych silników w warunkach zasilania emulsją HFA-E. Na tej podstawie można sądzić, że nie przewidują takiego zastosowania ze względu na negatywne skutki szybkiego zużywania się tych silników. Można też zauważyć, że dostawcy narzędzi górniczych dobierają te silniki do urządzeń zasilanych emulsją w sposób czysto orientacyjny i nieudokumentowany badaniami trwałościowymi.

Należy podkreślić, że obecnie produkowane przez Stosowanie Maszyn silniki satelitowe mogą być stosowane zarówno w instalacjach emulsyjnych, jak i olejowych bez wprowadzania dodatkowych zabiegów ingerujących w trwałość mechanizmu roboczego (jak to jest zalecane przez J. Urbańczyka w przypadku silników gerotorowych).

Jednym z istotnych elementów w silniku satelitowym SM wpływającym na zwiększenie trwałości mechanizmu robocze-

reklama



Detekcja



Pozycjonowanie



Identyfikacja



Sieci przemysłowe



Akcesoria

Ponad 25 lat doświadczeń w projektowaniu i wdrażaniu systemów RFID

- skorzystaj z naszej wiedzy i doświadczenia

Szeroka gama produktów

- systemy pracujące z częstotliwościami od LF do UHF  
- właściwe rozwiązanie do każdej aplikacji

Wsparcie na wszystkich etapach projektu

- kompleksowe rozwiązanie od jednego dostawcy

Elastyczność

- dopasowanie systemów do wymagań aplikacji

## RFID

### Przemysłowe systemy identyfikacji

Oferujemy zdecydowanie więcej niż tylko komponenty

**more added value**

- optymalny przepływ informacji  
- wysoka pewność działania  
- zwiększona produktywność

IO-Link

EtherNet/IP

DeviceNet

PROFI

PROFI NET



Balluff Sp. z o.o. ul. Muchoborska 16 54-424 Wrocław

Telefon: +48 71 338 49 29 Fax: +48 71 338 49 30 balluff@balluff.pl

www.balluff.pl

Tabela 2. Porównanie parametrów silników gerotorowych z satelitowymi

Parametry podane przy lepkości oleju: • Sauer-Danfoss – 35cSt, • M+S Hydraulic – 32cSt, • Stosow. Maszyn – 40cSt, • Eaton – brak danych		Producent			
		Sauer-Danfoss	Eaton	M+S Hydraulic Bułgaria	Stosowanie Maszyn
		Typ silnika/objętość robocza			
		OMM 20 19,9 cm <sup>3</sup> /obr.	Char-Lynn J-129 19,8 cm <sup>3</sup> /obr.	MM 20 20 cm <sup>3</sup> /obr.	SM-0,6/25 20,9 cm <sup>3</sup> /obr.
$p_{nom}$	MPa	10	14	10	25
$p_{max}$	MPa	14	16,5	14	32
$n_{nom}$	obr./min	1000	1040	1000	1500
$n_{max}$	obr./min	1250	1220	1250	1800
Maksymalne obciążenie przy pracy ciągłej	Nm	26,5 przy $\Delta_p = 10$ MPa i $n = 300$ obr./min	38 przy $\Delta_p = 14$ MPa i $n = 309$ obr./min	26,5 przy $\Delta_p = 10$ MPa i $n = 300$ obr./min	80 przy $\Delta_p = 25$ MPa i $n = 200$ obr./min
Maksymalne obciążenie przy pracy chwilowej	Nm	36 przy $\Delta_p = 14$ MPa i $n = 350$ obr./min	46 przy $\Delta_p = 16,5$ MPa i $n = 459$ obr./min	35 przy $\Delta_p = 14$ MPa i $n = 500$ obr./min	101 przy $\Delta_p = 32$ MPa i $n = 400$ obr./min
$\eta_c$ przy $n = 1000$ obr./min i $\Delta_p = 10$ MPa	%	70	71	70	77
$\eta_v$ przy $n = 1000$ obr./min i $\Delta_p = 10$ MPa	%	95	95	96	95
$\eta_c$ przy $n = 1200$ obr./min i $\Delta_p = 14$ MPa	%	68 (w obszarze pracy chwilowej)	65	68 (w obszarze pracy chwilowej)	80
$\eta_v$ przy $n = 1200$ obr./min i $\Delta_p = 14$ MPa	%	93,5	90	94	94,5
Filtracja	um	(brak danych)	wg ISO 20/18/13 min. 15	wg ISO 20/16 min. 25	100
Waga	kg	2,1	2,2	min. 2,1	2,0
Wymiary DxL	mm	60 × 117	60 × 123	60 × 118	63 × 116
Inne	–	Dotyczy silników typoszeregu SM: możliwość wykonania wału i dowolnych przyłączy hydraulicznych wg specyfikacji zamawiającego			

go są wykonywane z węgla spiekane płytki kompensacyjne (będące jednocześnie płytkami rozrządu). Duża sztywność tych płytek oraz poprawnie dobrane pole kompensacji sprawiają, że luz osiowy wirnika i satelitów mechanizmu roboczego silnika nie zostaje wykasowany nawet przy bardzo dużych obciążeniach silnika. Zatem nie zachodzi proces zużycia powierzchni czołowych wirnika i satelitów. Poza tym poprawnie zaprojektowana kompensacja luzów osiowych zapewnia, że ten luz osiowy wirnika i satelitów również nie zwiększa się wraz ze wzrostem obciążenia, a tym samym nie występuje dodatkowy wzrost przecieku wewnętrznego. Poza tym wieloletnie badania różnych typów silników satelitowych w laboratorium Katedry HiP PG pozwalają wnioskować o dobrej szczelności w obszarze współpracy zębów mechanizmu roboczego. Satelity dociskane są do wirnika i obwodnicy siłą wynikającą z różnicy ciśnień panujących w komorach roboczych, co powoduje, że na długości linii współpracujących zębów jest zachowana szczelność.

Wyniki badań silników SM, uzyskane w Katedrze Hydrauliki i Pneumatyki, umożliwiają porównanie tych silników z silnikami gerotorowymi kilku czołowych producentów. Do porównania wybrano silniki:

- satelitowy SM-0,6/25 o objętości roboczej 20,9 cm<sup>3</sup>/obr. (Stosowanie Maszyn);
- gerotorowy OMM 20 o objętości roboczej 19,9 cm<sup>3</sup>/obr. (Sauer-Danfoss);
- Char-Lynn J-129 o objętości roboczej 19,8 cm<sup>3</sup>/obr. (Eaton);
- MM 20 o objętości roboczej 20 cm<sup>3</sup>/obr. (bułgarskiej firmy M-S Hydraulic).

W tabeli 2 zestawiono parametry wyżej wymienionych silników. Dane zawarte w tabeli 2, dotyczące silników gerotorowych,

były odczytywane z charakterystyk silników umieszczonych na stronach internetowych producentów [16, 17, 18].

Na rys. 8 przedstawiono charakterystyki porównawcze sprawności objętościowej zaś na rys. 9 charakterystyki sprawności całkowitej silnika satelitowego SM-0,6/25 z silnikami gerotorowymi przy zasilaniu olejem.

Analizując dane zawarte w tabeli 2 oraz analizując charakterystyki porównawcze przedstawione na rys. 9 i 10, można zauważyć, że silniki satelitowe typoszeregu SM w porównaniu z gerotorowymi cechują się:

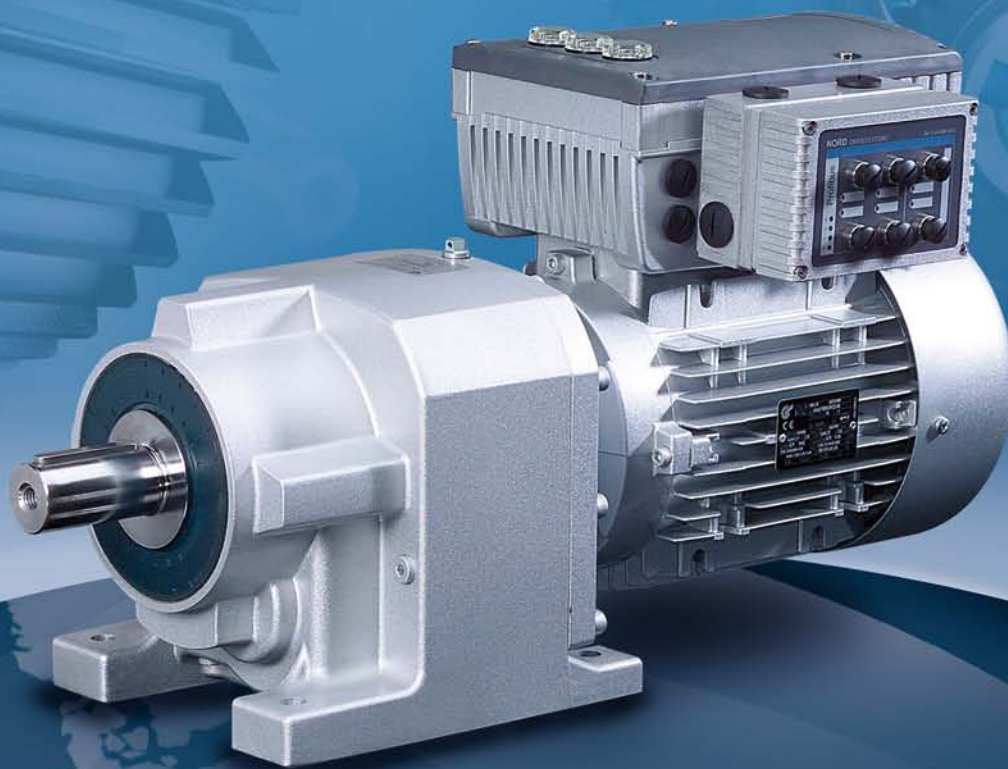
- znacznie wyższym ciśnieniem roboczym (25 MPa), a co za tym idzie możliwością większych obciążeń wału silnika;
- większym zakresem prędkości obrotowej;
- większą sprawnością hydrauliczno-mechaniczną;
- ogólnie większą sprawnością objętościową (nawet o 10%);
- większą sprawnością całkowitą (nawet o 18%);
- nieznacznie mniejszą masą (biorąc jako kryterium objętość roboczą silnika);
- zbliżonymi wymiarami gabarytowymi (biorąc jako kryterium objętość roboczą silnika).

### Podsumowanie

Silniki satelitowe typoszeregu SM są konstrukcją nowoczesną, cechującą się uniwersalnością przy stosowaniu różnych cieczy roboczych. Konstrukcja tych silników i ich produkcja jest inicjatywą firmy Stosowanie Maszyn w Katowicach. Prace badawczo-rozwojowe, prowadzone w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R0300103, pt. „Badania rozwojowe hydraulicznych silników i pomp satelitowych o małych objętościach roboczych zasilanych wodą, emulsją i olejem”, pozwo-

INTELIGENTNE SYSTEMY NAPĘDOWE, OGÓLNOŚWIATOWY SERWIS

# NORD - KOMPETENCJA W DZIEDZINIE NAPĘDÓW WSPÓLNIE MOŻEMY PORUSZYĆ WIĘCEJ



MOTOREDUKTORY - REDUKTORY - PRZETWORNICE CZĘSTOTLIWOŚCI

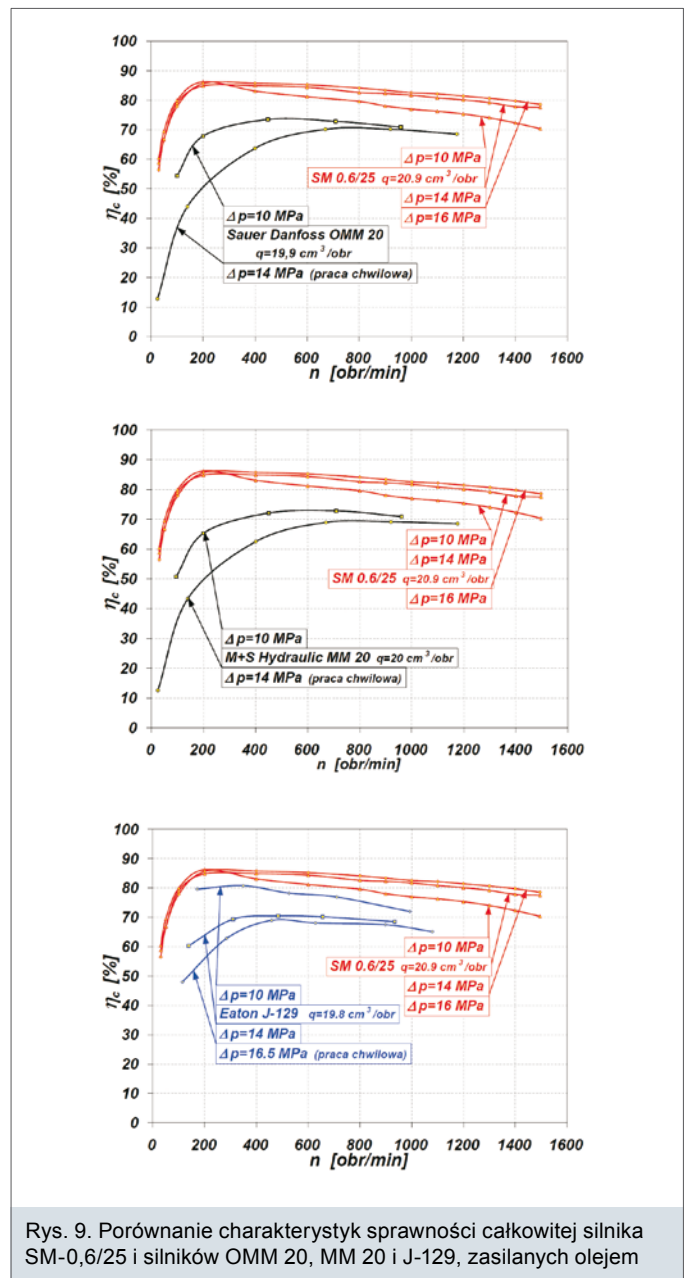
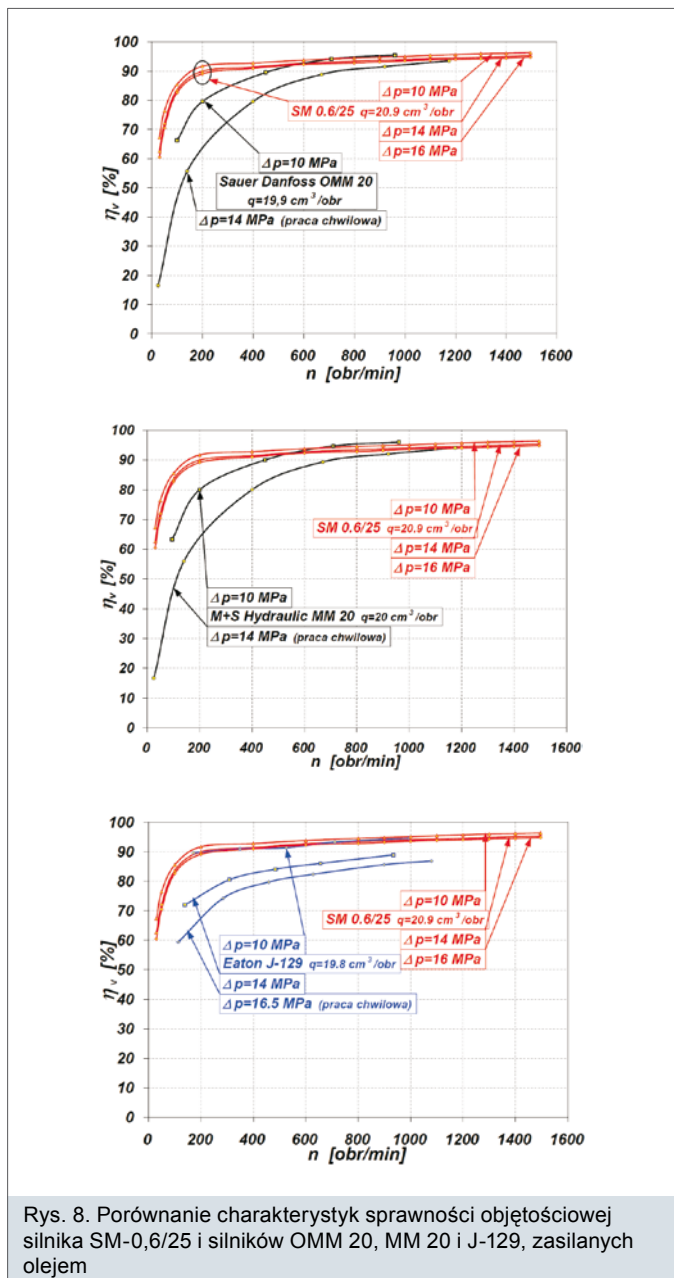
Nord Napędy sp. z o.o.  
ul. Grotgera 30  
32-020 Wieliczka  
www.nord.pl  
e-mail: biuro@nord-pl.com  
Telefon: 12 / 288 99 00  
Telefax: 12 / 288 99 11



miałocznik naukowo-techniczny  
**napędy i sterowanie**  
PRODUKT ROKU 2006







liły na udoskonalenie konstrukcji tych silników, a tym samym na uzyskanie dość wysokiej sprawności przetwarzania energii. Nie ulega wątpliwości, że silniki SM pod kątem osiągniętych parametrów zdecydowanie przewyższają silniki gerotorowe znanych światowych producentów.

Hydrauliczne silniki satelitarne typu SM, z racji swojej konstrukcji (mechanizm roboczy), technologii wykonania oraz zastosowanych w nich materiałów odpornych na zużycie w warunkach słabego smarowania, są droższe od gerotorowych. Z doświadczeń firmy Stosowanie Maszyn aplikacji silników SM w napędach górniczych wynika, że czas eksploatacji tych silników, w porównaniu do silników gerotorowych, jest nawet kilkunastokrotnie dłuższy. Ponadto zużyty mechanizm roboczy silników satelitowych można tanim kosztem zregenerować.

W silnikach gerotorowych raczej nie regeneruje się mechanizmu roboczego. Wobec tego stosowanie tanich, niskosprawnych i o krótkim czasie eksploatacji silników w kopalnianych warunkach zasilania zanieczyszczoną emulsją HFA-E jest ekonomicznie nieuzasadnione.

W dalszej perspektywie planowane są badania trwałościowe silników SM i silników gerotorowych zasilanych emulsją HFA-E oraz zasilanych rzeczywistymi roztworami aktywnych powierzchniowo związków w wodzie (nowa ciecz do napędów hydraulicznych, opracowywana w Politechnice Radomskiej, zawierająca 99% wody i w pełni biodegradowalna). Będzie to również okoliczność do dalszego porównania charakterystyk i własności eksploatacyjnych tych silników z innymi silnikami.

### Literatura

- [1] BALAWENDER A.: (2005). *Physical and mathematical model of losses in hydraulic motors*. Developments in mechanical engineering, Gdansk University of Technology Publishers. Gdansk, Poland.
- [2] PASZOTA Z.: (2007). *Moce strat energetycznych w elementach układów napędu hydrostatycznego – definicje, zależności, zakresy zmian, sprawności energetyczne. Część 1 – silnik hydrauliczny*. „Napędy i Sterowanie”, nr 11/2007.

# SILNIKI ELEKTRYCZNE I SYSTEMY NAPĘDOWE od 0,04 kW do 4000 kW



Szeroki asortyment  
silników specjalnych  
oraz silników  
energooszczędnych  
nowej serii SIE

Zapraszamy na Targi  
**POLEKO 2010**  
Poznań, 23 - 26.11.2010  
pawilon nr 4, stoisko nr 10



**Cantoni**  
GROUP



indukta



CELMA



- [3] ŚLIWIŃSKI P.: (2009). *Metodyka badań rozwojowych nowego typu silników i pomp satelitowych*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: „Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne 2009: Krajowy sektor w warunkach turbulentnego rynku”. Wrocław, 7–9 października 2009.
- [4] ŚLIWIŃSKI P.: (2009). *Porównanie własności smarnych wody, emulsji oleju w wodzie typu HFA-E oraz oleju Total Azolla 46 jako czynników roboczych w układach hydraulicznych*. XXX Ogólnopolska Konferencja Tribologiczna „Zawansowana Tribologia”. Naęczów. Tribologia: Teoria i Praktyka, nr 3=225.
- [5] ŚLIWIŃSKI P.: (2008). *Power balance in hydraulic satellite motors supplied with oil and HFA-E emulsion*. Proceedings of the 5th FPNI – PhD Symposium on Fluid Power, Krakow University of Technology.
- [6] ŚLIWIŃSKI P.: (2008). *Wpływ oleju i emulsji HFA-E na straty i bilans mocy w hydraulicznych silnikach satelitowych*. Rozdział w monografii CYLINDER 2008 „Badanie, konstrukcja, wytworzenie i eksploatacja układów hydraulicznych”. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008.
- [7] ŚLIWIŃSKI P.: (2007). *Model strat objętościowych w hydraulicznych silnikach satelitowych zasilanych olejem i emulsją HFA-E*. Konferencja Mechanika 2007. Gdańsk, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.
- [8] ŚLIWIŃSKI P.: (2007). *Wpływ oleju i emulsji HFA-E na charakterystyki przepływowe w kanałach wewnętrznych hydraulicznych silników satelitowych*. „Hydraulika i Pneumatyka”, nr 4/2007.
- [9] ŚLIWIŃSKI P.: (2007). *Wpływ oleju i emulsji HFA-E na charakterystyki przepływowe w szczelinach hydraulicznych silników satelitowych*. „Hydraulika i Pneumatyka”, nr 5/2007.
- [10] ŚLIWIŃSKI P.: (2007). *Właściwości smarne cieczy roboczych układów hydraulicznych. Olej Total Azolla 46, emulsja HFA-E oraz woda*. „Hydraulika i Pneumatyka”, nr 6/2007.
- [11] ŚLIWIŃSKI P.: (2006). *Porównanie zjawisk w hydraulicznych silnikach satelitowych zasilanych emulsją wodno-olejową lub olejem*. Praca doktorska. Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej. Promotor: Balawender A., Gdańsk 2006.
- [12] URBAŃCZYK J.: (1999). *Badania silników hydraulicznych dla potrzeb małej mechanizacji w górnictwie*. Praca doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- [13] ZAKRZEWSKI W.: (2009). *Wpływ rodzaju cieczy na opory przepływu w kanałach wewnętrznych hydraulicznych maszyn wyporowych typu SM*. Praca dyplomowa. Promotor dr inż. P. Śliwiński. Politechnika Gdańska.
- [14] Patent Polska nr 200588 (2009). Silnik hydrauliczny obiegowy. Twórca wynalazku: Szwajca T., Katowice.
- [15] Zgłoszenie patentowe nr P.389444 z dnia 02.11.2009. Silnik hydrauliczny satelitowy. Twórca wynalazku: Szwajca T., Stosowanie Maszyn, Katowice.
- [16] Katalog: *Eaton Char-Lynn Low Speed, High Torque Motors* <http://hydraulics.eaton.com/products/pdfs/E-MOLO-MC001-E5.pdf>.
- [17] Katalog: *OML and OMM Orbital Motors Technical Information*, [http://www.sauer-danfoss.com/stellent/groups/publications/documents/product\\_literature/52010346.pdf](http://www.sauer-danfoss.com/stellent/groups/publications/documents/product_literature/52010346.pdf).
- [18] Katalog: *Motors overview*, [http://www.ms-hydraulic.com/product\\_catalog.php](http://www.ms-hydraulic.com/product_catalog.php).

dr inż. Paweł Śliwiński – Zakład Hydrauliki i Pneumatyki,  
Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska