



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

AUTOREFERAT

zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r.
(Dz. U., poz. 1842, rozdział 2, §12.2, pkt 2)



Paweł Śliwiński

Spis treści

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe i odbyte szkolenia	3
2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu.....	3
3. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65, poz. 595 ze zm.).....	4
3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
3.2. Autor publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy	4
3.3. Cel naukowy ww. pracy, osiągnięte wyniki i ich wykorzystanie	4
3.3.1. Cel naukowy pracy	4
3.3.2. Osiągnięte wyniki.....	7
3.3.3. Wykorzystanie wyników badań	12
4. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze objęte ustawą	13
4.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) (Dz. U. nr 196, poz. 1165 §3 pkt 4a)	13
4.2. Artykuły oczekujące na publikację w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR).....	13
4.3. Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego i konstrukcyjnego (Dz. U. nr 196, poz. 1165 §3 pkt 4b)	14
4.3.1. Opracowanie metody projektowania i projekt satelitowego mechanizmu roboczego.....	14
4.3.2. Silniki satelitowe SM, pompy satelitowe PSM i agregat pompowy SAP.....	18
4.3.3. Przyrząd do badania wysokociśnieniowych uszczelnień ruchu obrotowego.....	18
4.3.4. Silniki satelitowe SWK.....	19
4.3.5. Silniki satelitowe HS i HSK.....	19
4.3.6. Zawory dławiące	21
4.3.7. Regulator przepływu	22
4.3.8. Stanowisko do badań pomp i silników.....	23

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe i odbyte szkolenia

- 2006: **doktor nauk technicznych**. Pracę doktorską obroniłem z wyróżnieniem. Temat pracy: „Porównanie zjawisk w hydraulicznych silnikach satelitowych zasilanych emulsją wodno-olejową lub olejem”. Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny. Promotor: dr hab. inż. Andrzej Balawender, prof. nadzw. Politechniki Gdańskiej
Recenzenci:
1) dr hab. inż. Zygmunt Paszota, prof. nadzw. Politechniki Gdańskiej i Politechniki Szczecińskiej,
2) dr hab. inż. Jarosław Stryczek, prof. nadzw. Politechniki Wrocławskiej.
- 2000: **magister inżynier**. Studia ukończyłem z wyróżnieniem. Temat pracy magisterskiej: „Projekt instalacji pneumatycznej sprężarkowni”. Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny.
Promotor: dr inż. Józef Niegoda
- 1995: **technik mechanik**. Ukończyłem z wyróżnieniem Technikum Mechaniczne o profilu Pojazdy Samochodowe przy Zespole Szkół Zawodowych w Żurominie. Zostałem zwolniony z obowiązku realizacji pracy dyplomowej ze względu na uczestnictwo w finale XXI Olimpiady Wiedzy Technicznej. Ponadto uzyskałem prawo wstępu bez egzaminu na dowolną uczelnię techniczną.
- 2001 – 2006: **studia doktoranckie** „Nowoczesne Technologie i Konwersja Energii” przy Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej.
- 03–06.2005: **kurs pedagogiczny** na Politechnice Gdańskiej.
- 01–04.2011: szkolenie „**Menedżer projektów badawczych**” w Wyższej Szkole Finansów i Zarządzania w Warszawie. Szkolenie w zakresie: kompetencji menadżerskich w zarządzaniu projektami badawczo-rozwojowymi, metodyki zarządzania projektami PRINCE 2 Foundation, współpracy z biznesem. Uzyskałem **certyfikat PRINCE 2 Foundation nr: 02382497-01-JINV** (kopia w załączniku)

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 11.05.2016 – zostałem wybrany na stanowisko Prodziekana d.s. Innowacji i Organizacji Dydaktyki na kadencję 2016-2020 (akt stwierdzający wybór w załączniku)
- 01.11.2015 – obecnie: **starszy wykładowca**, Politechnika Gdańska, Wydział Mech.
- 01.11.2006 – 31.10.2015: **adiunkt**, Politechnika Gdańska, Wydział Mech.
- 01.09.2001 – 30.06.2006: **asystent** (z jedno lub dwumiesięcznymi przerwami w wymiarze ½ etatu), Politechnika Gdańska, Wydział Mech.
- 01.07.2000 – 31.08.2001: **konstruktor**, Secespol, Gdańsk.

3. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65, poz. 595 ze zm.)

3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie wynikające z §16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wskazuję **monografię pt.:**

Satelitowe maszyny waporowe.

Podstawy projektowania i analiza strat energetycznych

(dołączona do niniejszego autoreferatu monografia opublikowana w całości)

oraz

oryginalne osiągnięcia projektowe i konstrukcyjne

szerzej omówione w rozdziale 5.2 niniejszego autoreferatu.

3.2. Autor publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

Śliwiński Paweł: „*Satelitowe maszyny waporowe. Podstawy projektowania i analiza strat energetycznych*”. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2016.

Recenzenci wydawniczy:

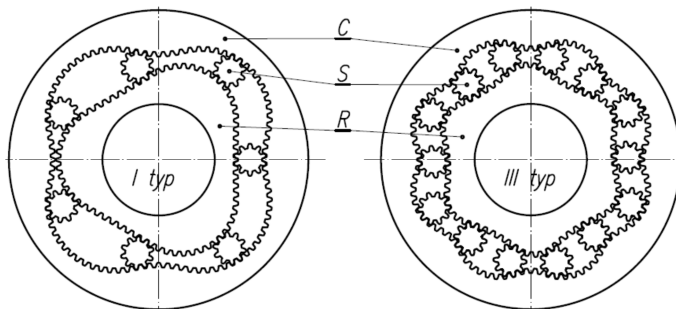
- 1) dr hab. inż. Leszek Osiecki (Politechnika Gdańska);
- 2) dr hab. inż. Tadeusz Złoto, prof. nadzw. P.Cz. (Politechnika Częstochowska).

3.3. Cel naukowy ww. pracy, osiągnięte wyniki i ich wykorzystanie

3.3.1. Cel naukowy pracy

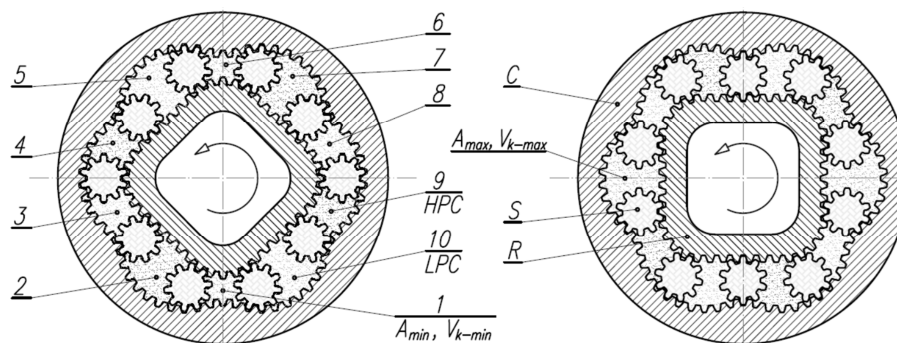
Jak dotąd na rynku dominują maszyny waporowe tłokowe o stałej i o zmiennej objętości komór roboczych oraz maszyny zębate. Nie są to jednak konstrukcje nowe a ich obecne parametry są efektem co najmniej kilkudziesięciu lat prac badawczo-rozwojowych. Proces poprawy parametrów tych maszyn postępuje nadal jednak jego tempo jest bardzo powolne, czego główną przyczyną jest zbliżenie się do granic wyznaczonych prawami fizyki.

Zaistniała więc potrzeba opracowania zupełnie nowych konstrukcji maszyn waporowych o walorach odmiennych od cech maszyn powszechnie znanych na rynku. Takimi maszynami są maszyny satelitowe. Pierwszymi satelitowymi maszynami waporowymi były silniki hydrauliczne, o nazwie SOK, produkowane w ZUO Hydroster w Gdańsku od 1979 roku. Silniki te zawierały mechanizm satelitowy I typu składający się z trójgarbnej planety, czterogarbnej obwodnicy i siedmiu satelitów (rys. 1).



Rys. 1. Mechanizmy satelitowe I i III typu: R – planeta, C – obwodnica, S – satelity

Kolejną odmianą były silniki satelitowe, o nazwie HF, zawierające mechanizm satelitowy II typu (rys. 2). Silniki te są produkowane od lat 90-ych ubiegłego wieku.



Rys. 2. Mechanizm satelitowy II typu: C – obwodnica, R – planeta, S – satelita, $1 \div 10$ – komory robocze, LPC – komora robocza niskiego ciśnienia, HPC – komora robocza wysokiego ciśnienia, $V_{k-\min}$ – komora robocza o minimalnej objętości (komora martwa) i minimalnej powierzchni $A_{\min}$, $V_{k-\max}$ – komora robocza o maksymalnej objętości i o maksymalnej powierzchni $A_{\max}$

Trzecią odmianę silników satelitowych stanowią silniki, o nazwie HS i następnie HSK, zawierające mechanizm satelitowy III typu (rys. 1). Silniki te wdrożono do produkcji po roku dwutysięcznym.

Wszystkie wyżej wymienione silniki były silnikami wolnoobrotowymi, charakteryzującymi się tym, że obwodnica stanowi nieruchomy element mechanizmu roboczego a w ruch obrotowy wprowadzana jest planeta. We wszystkich silnikach stosowano mechanizm satelitowy o module zębów 1,5mm lub 2,5mm.

Silnik typu SOK był silnikiem o najprostszej konstrukcji i nie zawierał zespołu kompensacji luzów osiowych planety i satelitów. Podobnie silnik typu HF charakteryzował się prostą konstrukcją a niektóre odmiany silnika HF były wyposażone w zespół kompensacji luzów. Zarówno silniki typu SOK jak i silniki typu HF charakteryzowały się niską sprawnością ze względu na duże przecieki wewnętrzne (brak kompensacji lub kompensacja wadliwie działająca). Zdecydowanie większą sprawnością objętościową charakteryzują się silniki typu HS. Silniki te zawierają zespół kompensacji luzów osiowych znanymi tym, że ciśnienie kompensacji jest ciśnieniem średnim pobranym z węzła uszczelnacza planety.

Były również podejmowane w Hydrosterze w latach 80-ych ubiegłego wieku próby zbudowania pompy z mechanizmem satelitowym. Próby te nie zakończyły się sukcesem.

Wydawać by się mogło, że maszyny satelitowe osiągnęły już swój techniczny szczyt a działająca pompa satelitowa już nie powstanie. Jednakże okazało się, że poprzez zmianę technologii wykonania (elektrodrążenie zamiast dłutowania) daje się wykonać mechanizm satelitowy o znacznie mniejszym module niż dotychczas stosowany. Pierwsze prototypy (aczkolwiek zawierające sporo wad) zarówno silnika (nazwanego SM) jak i pompy (nazwanej PSM) z modułem 0,75mm i mniejszym zbudowano w firmie Stosowanie Maszyn w Katowicach. Nawiązując w 2006 roku współpracę z tą firmą **postawiłem sobie za cel opracowanie metody projektowania pomp i silników satelitowych i metodyki ich badań**

laboratoryjnych. Prace te ukierunkowałem na możliwość pracy tych maszyn z dużą prędkością obrotową (1500 obr/min).

W trakcie moich prac badawczo-rozwojowych nad silnikami SM, HS (i HSK) oraz pompami PSM wysunąłem hipotezę, że skoro dało się zbudować maszynę satelitową, w której obwódnicą jest nieruchoma (obraca się planeta), to również da się zbudować maszynę wyporową (zarówno pompę jak i silnik), w której planeta jest nieruchoma a obraca się obwódnicą.

Jak dotąd takie maszyny satelitowe nie są znane, stanowią nowość a szczegółowy opis metody projektowania jest przedmiotem mojej monografii.

Ostatnio są podejmowane próby zastosowania maszyn satelitowych w przemyśle spożywczym. W związku z tym celowe było prowadzenie badań rozwojowych maszyn satelitowych przy zasilaniu wodą.

W literaturze dotyczącej napędów hydraulicznych brakuje informacji na temat zjawisk zachodzących w hydraulicznych maszynach wyporowych zasilanych wodą. Stąd też **zaistniała potrzeba dokładnego przebadania silnika i pompy celem wykrycia, opisanie i porównania tych zjawisk ze zjawiskami zachodzącymi przy zasilaniu tych maszyn olejem mineralnym**. Ponadto celowe jest sprawdzenie działania i parametrów pracy silnika satelitowego zasilanego rafinowanym olejem rzepakowym (jako cieczy alternatywnej dla oleju mineralnego) pod kątem jego przydatności do pracy w układach hydraulicznych.

Cel naukowy mojej pracy stanowi trzy obszary zagadnień.

Pierwszy obszar zagadnień dotyczy metod projektowania i konstruowania maszyn wyporowych zawierających satelitowy mechanizm roboczy oraz metod ich badań. Obszar tych zagadnień obejmuje:

- a) opisanie podstawowych cech mechanizmu satelitowego II typu;
- b) opracowanie nowych, innowacyjnych konstrukcji pomp i silników hydraulicznych wyposażonych w mechanizm satelitowy II typu:
 - z obracającą się planetą – pompa PSM i silnik SM (moduł zębów mechanizmu satelitowego obydwu maszyn $m=0,75\text{mm}$),
 - z obracającą się obwódnicą – agregat pompowy SAP (moduł zębów $m=0,75\text{mm}$) i silnik SWK (moduł zębów $m=1,5\text{mm}$);
- c) opracowanie konstrukcji innowacyjnego przyrządu do badania wysokociśnieniowych uszczelnień wału;
- d) opracowanie nowych metod projektowania:
 - zespołu kompensacji luzów osiowych satelitów i planety w ww. maszynach,
 - rozrządu w ww. maszynach;
- e) opracowanie nowych metod badań pomp i silników satelitowych, głównie w zakresie:
 - uszczelnień wału,
 - rozrządu,
 - zespołu kompensacji luzów osiowych,
 - spadku ciśnienia w kanałach wewnętrznych tych maszyn.

Drugi obszar zagadnień dotyczy zbadania i opisanie wpływu rodzaju cieczy na zjawiska zachodzące w maszynach satelitowych. Obszar tych zagadnień obejmuje przeprowadzenie badań:

- a) wysokociśnieniowych uszczelnień wału, zwłaszcza silników satelitowych, pod kątem wytypowania odpowiedniego uszczelnienia pracującego w warunkach:
 - smarowania cieczą o najłagodniejszych właściwościach smarnych (tj. wodą);
 - wysokiego ciśnienia w komorze wału – do 2 MPa.

Warunki takie występują zwłaszcza w układach hydraulicznych maszyn pracujących w kopalniach, gdzie ciśnienie w przyłączy odpływowym silnika sięga właśnie 2 MPa.

- b) właściwości cieczy roboczych, którymi maszyny satelitowe mogą być zasilane, tj. oleju mineralnego, emulsji oleju w wodzie typu HFA-E, wody i olejów roślinnych;
- c) tribologicznych materiałów, które potencjalnie mogłyby być lub są stosowane na elementy mechanizmu satelitowego, przy smarowaniu ww. cieczami;
- d) wpływu wody kranowej i oleju mineralnego (jako czynnik roboczy wybrano dwie ciecze o skrajnie różniących się lepkościach) na straty w silniku satelitowym typu SM i w pompie PSM;
- e) wpływ oleju rzepakowego i emulsji oleju w wodzie typu HFA-E na straty w silniku satelitowym typu SM. Przy czym zakres badań ograniczono do wyznaczenia i porównania wielkości strat objętościowych i mechanicznych;
- f) badania wstępne satelitowego agregatu pompowego w zakresie stwierdzenia poprawności jego działania i określenia wielkości strat objętościowych.

Trzeci obszar zagadnień dotyczy opisanie źródeł strat w silniku satelitowym SM i w pompie satelitowej PSM oraz opracowania nowych modeli matematycznych opisujących straty w tych maszynach.

3.3.2. Osiągnięte wyniki

Opracowane przeze mnie zależności matematyczne niezbędne do wykonania dokumentacji CAD mechanizmu satelitowego (patrz rozdział 4.3.1) pozwoliły na teoretyczne zbadanie cech mechanizmu satelitowego, jak dotąd nieznanych. Szczegółową analizę przeprowadziłem dla mechanizmu II typu (rys. 2). W efekcie przedstawiłem zależności matematyczne i przykładowe charakterystyki w funkcji kąta obrotu wału:

- a) prędkości kątowej i przyspieszenia kątowego satelity;
- b) prędkości liniowej i przyspieszenia liniowego satelity;
- c) moment teoretyczny generowany przez planetę;
- d) moment teoretyczny generowany przez satelitę;
- e) moment teoretyczny generowany przez jedną komorę roboczą będącą w fazie napełnienia i opróżniania;
- f) moment teoretyczny całego mechanizmu satelitowego.
- g) wydajności (lub chłonności) teoretycznej mechanizmu.

Ponadto wykazałem, że:

- a) teoretyczna nierównomierność wydajności mechanizmu II typu wynosi $\lambda=4,9\%$;
- b) teoretyczna nierównomierność momentu $\sigma_{Mt}=7,7\%$;
- c) w punkcie styku (punkt przegięcia) linii podziałowej garbu wypukłego planety z linią podziałową garbu wklęsłego planety występuje duża zmiana przyspieszenia satelity a zatem jej bezwładności. Ma to wpływ na moment strat mechanicznych. Potwierdzeniem tej teorii jest większe zużycie zębów planety właśnie w obszarze punktu przegięcia wykazane w trakcie badań eksperymentalnych.

Trajektoria ruchu satelity w mechanizmie satelitowym ma wpływ na położenie i wielkość otworów dopływu i odpływu czynnika roboczego w płytach bocznych zamykających ten mechanizm. Stwierdziłem, że nie jest możliwe zaprojektowanie uniwersalnego rozrządu zapewniającego właściwy proces napełniania i opróżniania komór mechanizmu roboczego zarówno dla przypadku obracającej się planety i nieruchomej obwodnicy jak i dla przypadku obracającej się obwodnicy i nieruchomej planety. Wykazałem, że liczba otworów dopływu i odpływu w płytach bocznych jest dla obydwu przypadków odmienna. Czyli:

- a) dla mechanizmu z nieruchomą obwodnicą liczba otworów jest równa liczbie garbów obwodnicy;

b) dla mechanizmu z nieruchomą planetą liczba otworów jest równa liczbie garbów planety.

Żeby poprawnie zaprojektować rozrząd maszyny satelitowej zmuszony byłem opisać wzorami matematycznymi położenie satelitów odpowiadające komórce o minimalnej objętości i komórce o maksymalnej objętości. Na tej podstawie wyznaczyłem kształty otworów dopływu i odpływu w płycie bocznej o maksymalnym polu zarówno dla przypadku mechanizmu z obracającą się planetą jak i z obracającą się obwodnicą. Stwierdziłem, że mogą się pojawić czynniki zarówno konstrukcyjne (podczas projektowania maszyny satelitowej) jak i technologiczne ograniczające możliwość zastosowania otworów o maksymalnym polu. W związku z tym opracowałem inne możliwe do zastosowania kształty tych otworów.

Kolejnym ważnym zagadnieniem opracowanym przeze mnie i przedstawionym w monografii są charakterystyki pól wyżej wymienionych otworów oraz charakterystyki prędkości przepływu czynnika roboczego w tych otworach w funkcji kąta obrotu wału maszyny (pole otworu się zmienia w trakcie obrotu wału, gdyż satelita przysłania otwór).

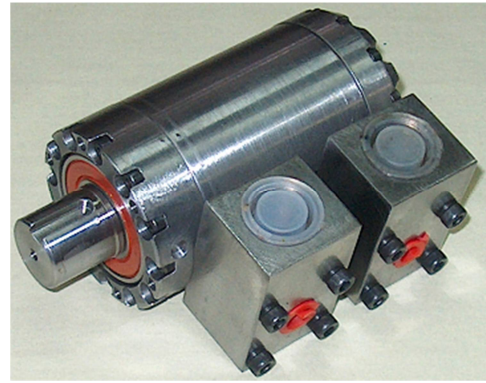
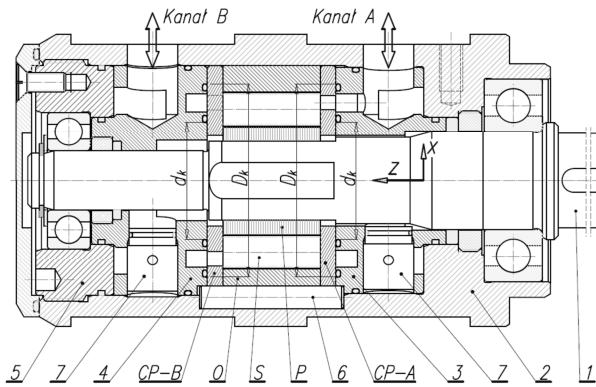
W ten sposób wykazałem, że charakterystyki prędkości przepływu czynnika roboczego w otworze dla przypadku obracającej się obwodnicy i dla przypadku obracającej się planety mają odmienny przebieg i nie wolno ich porównywać.

Kolejnym ważnym zagadnieniem przeze mnie opracowanym i opisanym w monografii jest projektowanie zespołu kompensacji luzów osiowych elementów mechanizmu roboczego. Opracowałem i opisałem wszystkie możliwe sposoby rozwiązania konstrukcyjnego zespołu kompensacji luzów osiowych w maszynach satelitowych.

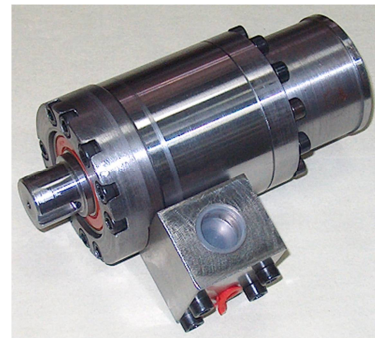
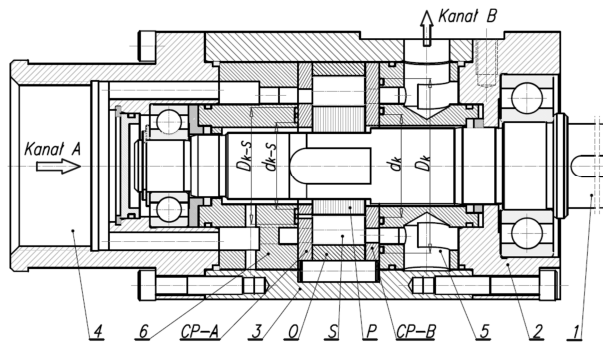
Moim osiągnięciem jest opracowanie uproszczonej metody analitycznej wstępnego doboru średnic kompensacji zarówno w maszynach z obracającą się planetą jak i z obracającą się obwodnicą. W swoich metodach obliczeniowych jako pierwszy uwzględniłem warunek równowagi momentów sił (pochodzących od ciśnień z mechanizmu roboczego i od ciśnienia w przestrzeni kompensacji) zginających płytę kompensacyjną. Dotychczas inni autorzy prac naukowych rozpatrywali tylko równowagę sił działających na płytę kompensacyjną, co nie gwarantowało równowagi momentów i mogło być przyczyną nadmiernego zmniejszenia luzów osiowych elementów mechanizmu roboczego lub też ich niekorzystnego zwiększenia. Moja metoda obliczeń pozwoliła ograniczyć liczbę kosztownych obliczeń deformacji elementów maszyn satelitowych metodami MES (Ansys). Na podstawie wyników obliczeń MES określiłem minimalny luz osiowy ruchomych elementów mechanizmu roboczego zarówno w pompach jak i silnikach.

Na bazie satelitowego mechanizmu roboczego II typu zaprojektowałem:

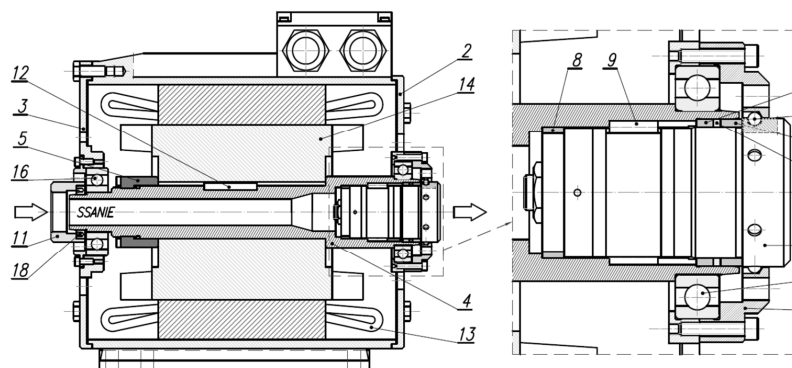
- a) silnik satelitowy (oznaczony symbolem SM) (rys. 3);
- b) pompę satelitową (oznaczonej symbolem PSM) (rys. 4);
- c) satelitowy agregat pompowy (oznaczonego symbolem SAP i potocznie nazwanego „SŁOŃ”) (rys. 5) oraz pompę tego agregatu (rys. 6), w której napędzana jest obwodnica mechanizmu satelitowego;
- d) silnik satelitowy (oznaczony symbolem SWK), w którym w ruch obrotowy wprowadzana jest obwodnica i korpus silnika, zaś czop (wał) jest nieruchomy (rys. 7).



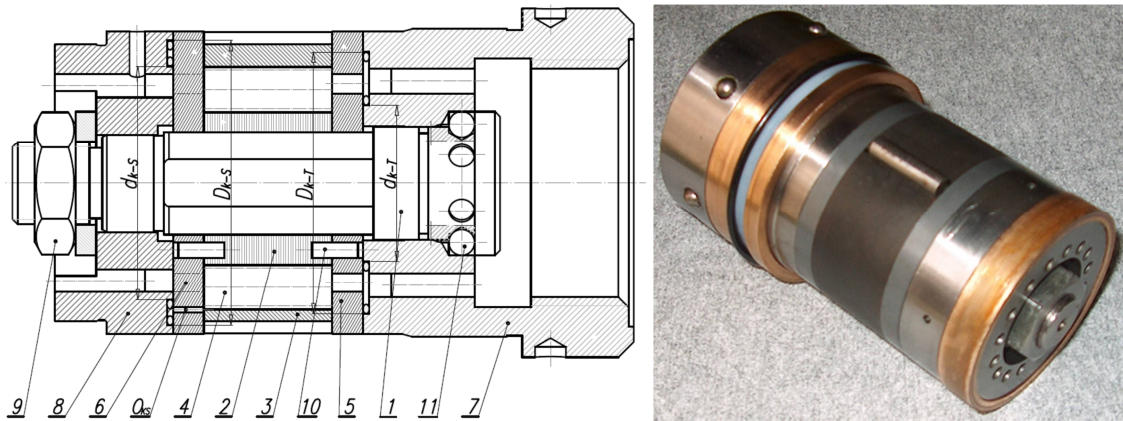
Rys. 3. Silnik satelitowy SM: O – obwodnica, P – planeta, S – satelita, CP-A i CP-B – płytki rozrzędu, 1 – wał, 2 – korpus, 3 i 4 – kolektory, 5 – płyta dociskowa, 6 – kołek ustalający, 7 – zawór zwrotny, D_k i d_k – średnice pola kompensacji



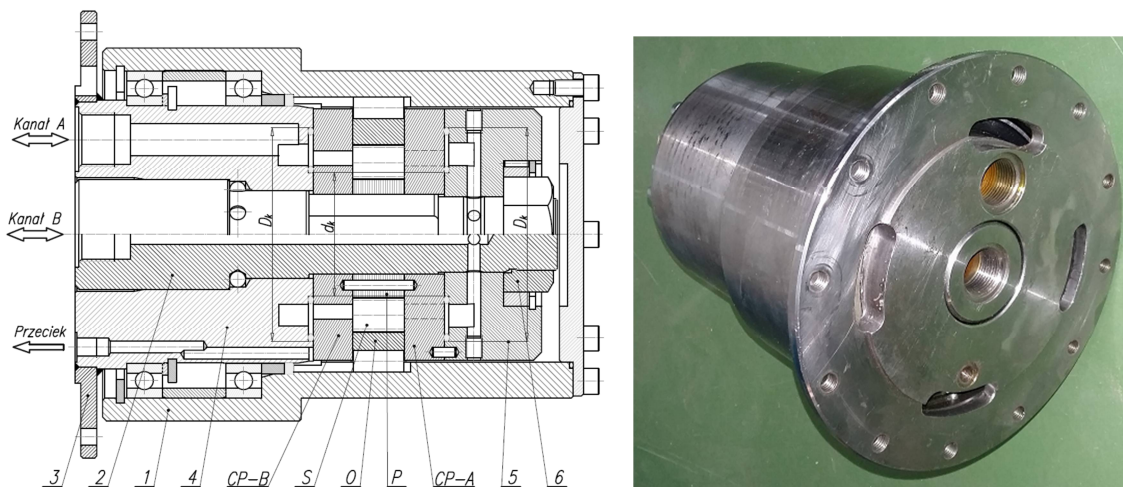
Rys. 4. Pomp satelitowa PSM: O – obwodnica, P – planeta, S – satelita, CP-A i CP-B – płytki rozrzędu, 1 – wał, 2 i 3 – elementy korpusu, 4 – przyłącze ssące, 5 i 6 – kolektory, D_k i d_k – średnice pola kompensacji po stronie tłocznej, D_{k-S} i d_{k-S} – średnice pola kompensacji po stronie ssącej



Rys. 5. Satelitowy agregat pompowy SAP: 1 – pompa, 2 i 3 – pokrywy silnika elektrycznego, 4 – wał, 5 – nakrętka ustalająca wirnik, 6 – pierścień podpierający uszczelniacz, 7 i 8 – panewki, 9 – kołek, 10 – pokrywa sprzęgająca, 11 – przyłącze ssące, 12 – wpust, 13 – stojan, 14 – wirnik, 15 i 16 – łożyska, 17 i 18 – uszczelniacz, 19 – kulka sprzęgająca



Rys. 6. Pompa z mechanizmem satelitowym o odwróconej kinematyce: 1 – wałek, 2 – planeta, 3 – obwodnica, 4 – satelity, 5 i 6 płyty kompensacyjne (rozrządu), 7 – przyłącze tłoczne, 8 – kolektor ssący, 9 – nakrętka, 10 – kołek ustalający, 11 – kulka sprzęgająca, O_{KS} – otwór kompensacji, D_{k-T} i d_{k-T} – średnice pola kompensacji po stronie tłocznej, D_{k-S} i d_{k-S} – średnice pola kompensacji po stronie ssącej



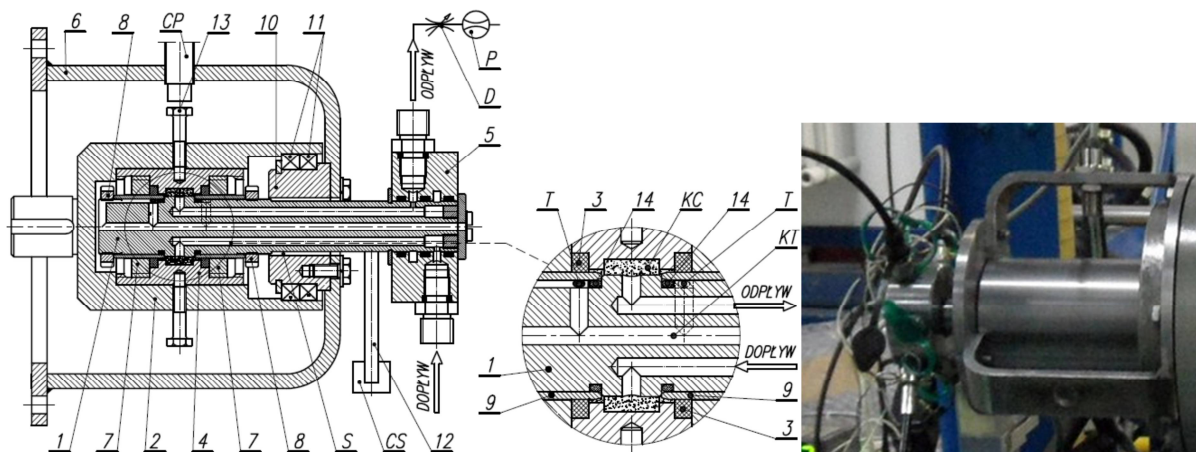
Rys. 7. Silnik satelitowy SWK z mechanizmem II typu: O – obwodnica, P – planeta, S – satelita, CP-A i CP-B – płytki rozrządu, 1 – korpus, 2 – czop, 3 – przyłącze mechaniczne silnika, 4 – kolektor przedni, 5 – kolektor tylny, 6 – nakrętka, D_k i d_k – średnice pola kompensacji

Odrębnym kierunkiem badań przeze mnie prowadzonych i opisanych w monografii są badania tribologiczne materiałów na mechanizm satelitowy i płyty rozrządu (kompensacyjne). Wyniki badań pokazały, że w wyniku smarowania wodą wodociągową:

- a) stal nierdzewna Duplex 2505 wykazuje dużą skłonność do zacierania i nie nadaje się do przenoszenia nacisków większych niż 4MPa;
- b) najlepszym skojarzeniem tribologicznym jest stal narzędziowa Nimax z węglikiem spiekany G20.

Na podstawie badań doświadczalnych prototypu silnika wykazałem, że stale proszkowe nie nadają się jako materiał na płyty kompensacyjne. W warunkach zasilania silnika wodą płyty te uległy zniszczeniu (szybkie wytarcie materiału z powierzchni tych płyt).

Odrębnym ważnym zagadnieniem dotyczącym maszyn satelitowych jest uszczelnienie wału. Ze względu na potencjalne zastosowanie maszyn satelitowych w kopalniach i warunki tam panujące przeprowadziłem badania eksperymentalne mające na celu wytypowanie wężła uszczelniającego gdzie czynnikiem smarnym jest woda przy ciśnieniu min 2 MPa. W celu przeprowadzenia badań opracowałem koncepcję oryginalnego przyrządu do badań uszczelek (rys. 8).



Rys. 8. Przyrząd do badania uszczelnień wału pompy i silnika satelitowego: 1 – wał, 2 – gniazdo uszczelki, 3 – badane uszczelnienie, 4 – głowica, 5 – gniazdo przyłączy, 6 – korpus, 7 i 8 – nakrętki, 9 – wymienne tuleje wykonane z różnych materiałów, 10 – tuleja, 11 – łożyska, 12 – dźwignia siłomierza, 13 – śruba, 14 – O-Ring, T – termopary, KC – komora cieczy, KT – kanał odprowadzenia przecieku i doprowadzenia termopar, CS – czujnik siły, CP – czujnik prędkości obrotowej, D – dławik, P – przepływomierz

Wyniki badań wykazały, że na trwałość wysokociśnieniowego węzła uszczelniającego smarowanego wodą ma wpływ nie tylko rodzaj uszczelki ale również rodzaj materiału czopa wału (lub rodzaj powłoki na czopie), rodzaj obróbki cieplno-chemicznej, twardość i chropowatość powierzchni. Ostatecznie stwierdziłem, że największą trwałością charakteryzuje się węzeł uszczelniający, w którym czop wału będzie wykonany ze stali narzędziowej (preferowana tulejka z tej stali na czopie) o chropowatości $Ra=0,1$ z naniesioną niskotarciową powłoką Balinit C i uszczelką typu R9 (kompozyt na bazie teflonu z grafitem).

W celu potwierdzenia poprawności metod projektowania rozrządu i zespołu kompensacji luzów osiowych w maszynach satelitowych opracowałem eksperymentalne metody weryfikacji. Badania przeprowadziłem przy małej prędkości stałej maszyny. W ten sposób:

- zarejestrowałem wartości przecieków w szczelinach rozrządu i oceniłem poprawność działania rozrządu;
- zarejestrowałem wartości przecieków w szczelinach płaskich utworzonych przez powierzchnię czołową satelitów i powierzchnię czołową planety (lub obwodnicy) co pozwoliło mi ocenić poprawność działania zespołu kompensacji.

Odrębnym sposobem oceny poprawności działania kompensacji luzów osiowych było opracowanie metody i pomiar zmiany odległości między płytkami kompensacyjnymi w maszynie obciążonej (pompie lub silniku).

Jako pierwszy dokonałem pomiaru ciśnienia w dwóch sąsiadujących komorach roboczych silnika i zdefiniowałem charakter zmiany ciśnienia w komorze w trakcie przechodzenia przez komorę o minimalnej lub maksymalnej objętości. Przeanalizowałem również wyniki badań natężenia przepływu zarówno wody jak i oleju w obciążonym silniku i pompie i na tej podstawie opisałem mechanizm powstawania przecieków w szczelinach płaskich mechanizmu oraz w rozrządzie. Na tej podstawie opracowałem wzory matematyczne do obliczenia wielkości przecieków w szczelinach płaskich i w rozrządzie w zależności od:

- parametrów cieczy roboczej (lepkość i gęstość);
- parametrów satelitowego mechanizmu roboczego (moduł zębów, wielkość luzów osiowych, wysokość mechanizmu);
- wielkości otworów dopływu u odpływu w płytach bocznych;

Wykazałem jednocześnie, że przepływ cieczy (zarówno wody jak i oleju) w szczelinach płaskich mechanizmu roboczego jest przepływem burzliwym nie w pełni rozwiniętym.

W kolejnym etapie dokonałem analizy:

- a) wszystkich źródeł strat objętościowych w maszynie satelitowej i na tej podstawie opracowałem od podstaw model matematyczny strat objętościowych;
- b) wszystkich źródeł strat mechanicznych w maszynie satelitowej i na tej podstawie opracowałem od podstaw model matematyczny strat mechanicznych.

Przeprowadziłem badania laboratoryjne pompy PSM i silnika SM przy zasilaniu olejem mineralnym i wodą w szerokim zakresie różnicy ciśnień (do 25MPa) oraz w szerokim zakresie prędkości obrotowej (do 1500 obr/min). Na podstawie wyników badań eksperymentalnych wyznaczyłem wartości współczynników modelu strat objętościowych i mechanicznych. Tym samym potwierdziłem poprawność tych modeli.

Kolejnym i ostatnim zagadnieniem opisanym w monografii jest wpływ cieczy o skrajnych parametrach, czyli wody i oleju, na spadek ciśnienia w kanałach wewnętrznych maszyn satelitowych (pompy i silnika). W tym celu opracowałem nową metodę eksperymentalnego pomiaru spadku ciśnienia w kanałach wewnętrznych maszyny. Jednocześnie pomierzyłem wartości ciśnienia w komorze roboczej ssącej w funkcji prędkości obrotowej wału pompy. Na podstawie analizy danych eksperymentalnych wykazałem, że w nieobciążonej pompie w komorze roboczej wytłaczającej ciecz zachodzi proces sprężania cieczy a wartość ciśnienia sprężania jest funkcją prędkości obrotowej.

Wykazałem również, że jest możliwe symulowanie przepływu cieczy w kanałach wewnętrznych maszyn satelitowych, ale wymaga to przede wszystkim uproszczenia polegającego na zatrzymaniu mechanizmu satelitowego. W efekcie obliczenia CFD dają wynik spadku ciśnienia różniący się nawet 30% w stosunku do eksperymentu. Jedyną zaletą obliczeń CFD jest zobrazowanie rozkładu prędkości cieczy i rozkładu ciśnienia w kanałach wewnętrznych.

Wykazałem ponadto, że nie jest konieczne tworzenie od podstaw modelu matematycznego do opisu strat ciśnienia w kanałach wewnętrznych maszyn satelitowych. Model przedstawiony w monografii jest zmodyfikowanym wzorem zaproponowanym przez prof. A. Balawendera.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że opracowany przeze mnie:

- a) silnik SM osiąga sprawność (dla $\Delta p=25\text{MPa}$):
 - objętościową: przy zasilaniu olejem 85% (dla $n=200\text{obr/min}$) i 93% (dla $n=1500\text{obr/min}$) oraz przy zasilaniu wodą 66% (dla $n=200\text{obr/min}$) i 89,5% (dla $n=1500\text{obr/min}$);
 - całkowitą: przy zasilaniu olejem 80% (przy $n=200\text{obr/min}$) i 81% (dla $n=1500\text{obr/min}$) oraz przy zasilaniu wodą 54% (przy $n=200\text{obr/min}$) i 71% (dla $n=1500\text{obr/min}$);
- b) pompa PSM osiąga sprawność (dla $\Delta p=25\text{MPa}$ i $n=1500\text{obr/min}$):
 - objętościową: przy zasilaniu olejem 90% oraz przy zasilaniu wodą 77%;
 - całkowitą: przy zasilaniu olejem 80% oraz przy zasilaniu wodą 69%;

3.3.3. Wykorzystanie wyników badań

Wyniki moich prac badawczo-rozwojowych znalazły zastosowanie w przemyśle. Opisane w monografii **rozwiązanie konstrukcyjne silnika SM jest wdrożone** w firmie Stosowanie Maszyn w Katowicach, czego dowodem jest oświadczenie tej firmy z dnia 19.12.2014r. zamieszczone w załączniku. Jak dotąd firma Stosowanie Maszyn sprzedała około dwóch tysięcy silników zarówno na rynku krajowym jak i za granicą.

Rozwiązanie konstrukcyjne otworów dopływu i odpływu zostało wykorzystane w pompach satelitowych pierwszej generacji (rys. 18) produkowanych przez firmę Stosowanie Maszyn i Hydromasz w Katowicach głównie na własne potrzeby (jak dotąd nie wprowadzono pomp satelitowych do oferty handlowej).

Jak dotąd nie wdrożono do produkcji pompy satelitarnej opisanej w monografii i nie wdrożono do produkcji satelitowego agregatu pompowego mimo bardzo dużego zainteresowania tymi maszynami na międzynarodowych targach.

Silnik SWK powstał na zlecenie firmy FAMA w Gniewie i jest oczywiste, że zostanie wdrożony do produkcji. Z tego też względu firma zobowiązała się do podpisania umowy licencyjnej na patent 218888 „Satelitowy mechanizm roboczy hydraulicznej maszyny wyporowej” i zgłoszenie patentowe nr P.403060: „Płynowa maszyna wyporowa z satelitowym mechanizmem roboczym o odwróconej kinematyce”.

4. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze objęte ustawą

Osiągnięcia naukowo-badawcze przedstawiono w oparciu o kryteria zdefiniowane w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. (Dz. U. nr 196, poz. 1165):

- a) §3 pkt 4) (kryteria oceny w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych w obszarze nauk technicznych);
- b) §4 (kryteria oceny w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych dla wszystkich obszarów wiedzy);
- c) §5 (kryteria oceny w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej we wszystkich obszarach wiedzy).

4.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) (Dz. U. nr 196, poz. 1165 §3 pkt 4a)

Jestem autorem następujących publikacji w czasopismach z JCR:

1. Śliwiński P.: The basics of design and experimental tests of the commutation unit of a hydraulic satellite motor. Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 16, iss. 4 (2016), s. 634-644

Link do wersji pełno tekstowej:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966516300176>

DOI: 10.1016/j.acme.2016.04.003

JCR 136761

2. Śliwiński P.: Flow of liquid in flat gaps of the satellite motor working mechanism. Polish Maritime Research, Vol. 21, nr 2 (82) (2014), s. 50-57

JCR 128704

Jestem autorem jednego artykułu opublikowanego w czasopiśmie, które w momencie przyjęcia do publikacji mojego artykułu znajdowało w bazie JCR a w momencie opublikowania artykułu znalazło się poza tą bazą. Nie mniej jednak artykuł ten jest zarejestrowany w bazie Web of Science. Jest to publikacja:

3. Śliwiński P.: New satellite pumps. Key Engineering Materials: Fundamentals of Machine Design, vol. 490 (2012), s.195-205

AR 95926

4.2. Artykuły oczekujące na publikację w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

1. Śliwiński P.: The influence of water and mineral oil on volumetric losses in hydraulic motor. Journal of Engineering Research (ISSN: 2307-1877). Artykuł w recenzji.

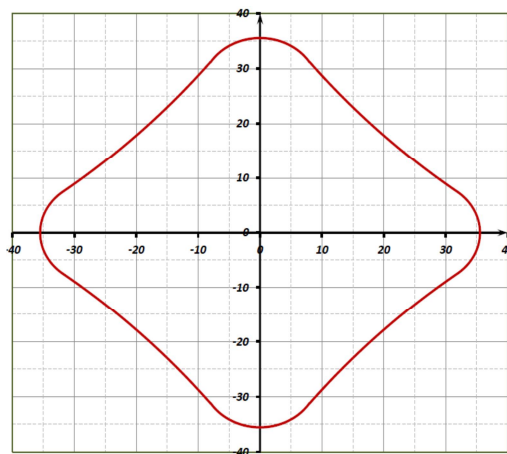
2. Śliwiński P.: The influence of water and mineral oil on the mechanical losses in a hydraulic motor. Chinese Journal of Mechanical Engineering (ISSN: 1000-9345). Artykuł w recenzji.

4.3. Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego i konstrukcyjnego (Dz. U. nr 196, poz. 1165 §3 pkt 4b)

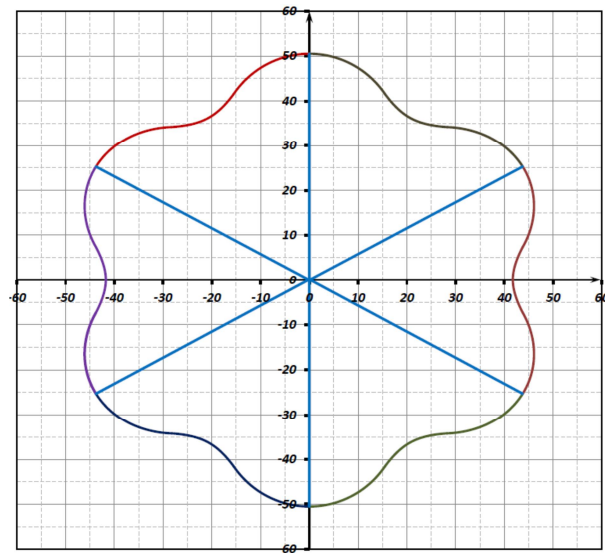
4.3.1. Opracowanie metody projektowania i projekt satelitowego mechanizmu roboczego

Jak dotąd mechanizm satelitowy jest wykonywany metodą dłutowania z zastosowaniem specjalistycznego oprzyrządowania (tzw. „zegarynki” dedykowane tym mechanizmom) lub metodą elektrodrążenia drutowego. Przy czym dokumentacja CAD niezbędna do wykonania elementów metodą elektrodrążenia jest zwyczajną kopią elementów mechanizmu satelitowego wykonanych metodą dłutowania. Zatem takie mechanizmy były obciążone błędami zarówno konstrukcyjnymi jak i technologicznymi. W trakcie prowadzonych prac badawczo-rozwojowych nad silnikami zaobserwowano, że mechanizm satelitowy charakteryzował się dużym luzem satelitów tylko w obszarze schodzenia z garbów obwodnicy. Był to ewidentny błąd zarówno konstrukcji mechanizmu satelitowego jak i oprzyrządowania do jego wykonania. Producenci, dysponując kopią mechanizmu w postaci dokumentacji CAD, we własnym zakresie metodą prób i błędów ten błąd w znacznym stopniu ograniczyli.

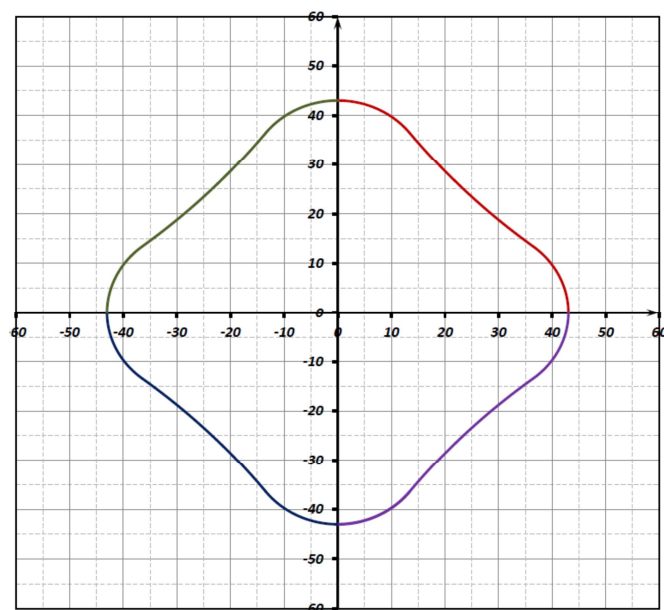
A więc zaistniała potrzeba opracowania konstrukcji mechanizmu satelitowego pozbawionego tych wad i dedykowanego do wykonania na elektrodrążarce drutowej. Zatem opracowałem metodę projektowania satelitowego mechanizmu roboczego, wyprowadziłem wszystkie niezbędne zależności matematyczne opisujące współrzędne linii podziałowych zębów planety (rys. 9) i obwodnicy (rys. 10), wyznaczyłem współrzędne środka satelity (rys. 11 i rys. 12) i kąty jej obrotu (rys. 13 i rys. 14) dla każdego jej położenia względem planety i obwodnicy. Przyjąłem założenie, że satelita jest dłutakiem, który w oprogramowaniu jednocześnie dłutuje zęby planety i obwodnicy. Oprogramowanie do tworzenia zarysów planety i obwodnicy opracował mgr inż. Piotr Patrosz.



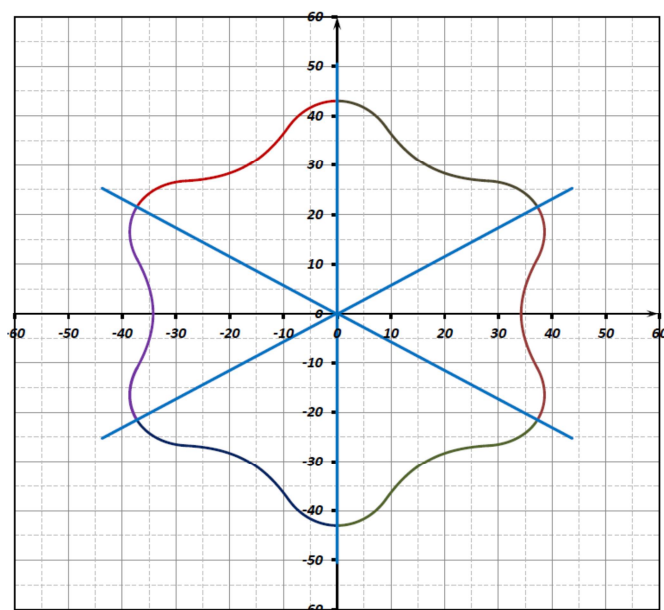
Rys. 9. Linia podziałowa zębów planety mechanizmu satelitowego II typ (4x6) – moduł zębów 1,5mm



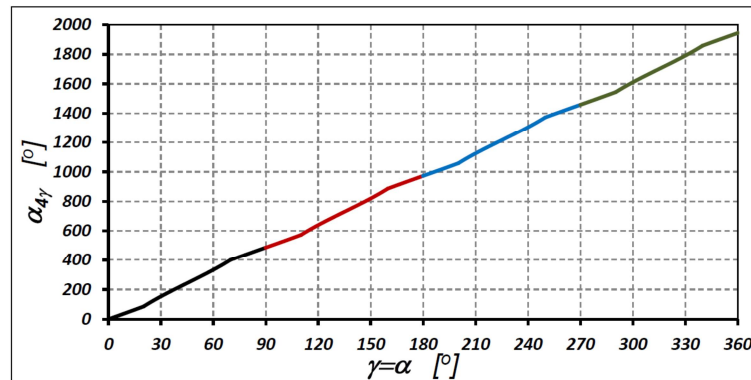
Rys. 10. Linia podziałowa obwodnicy mechanizmu satelitowego II typu (4x6) w pełnym zakresie kąta α_0 .



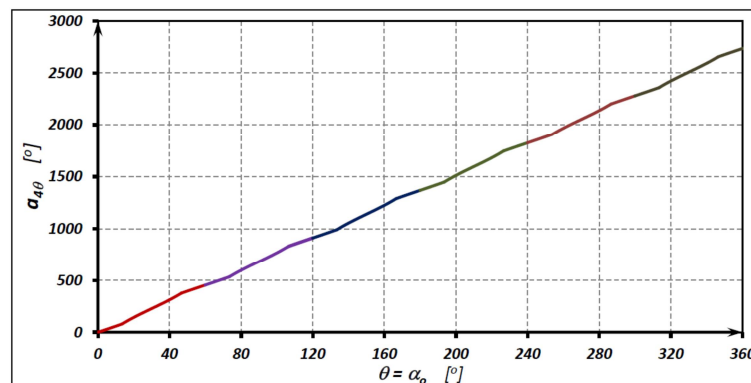
Rys. 11. Współrzędne środka satelity w procesie „dłutowania” planety mechanizmu satelitowego II typu (4x6)



Rys. 12. Współrzędne środka satelity w procesie „dłutowania” obwodnicy mechanizmu satelitowego II typu (4x6)



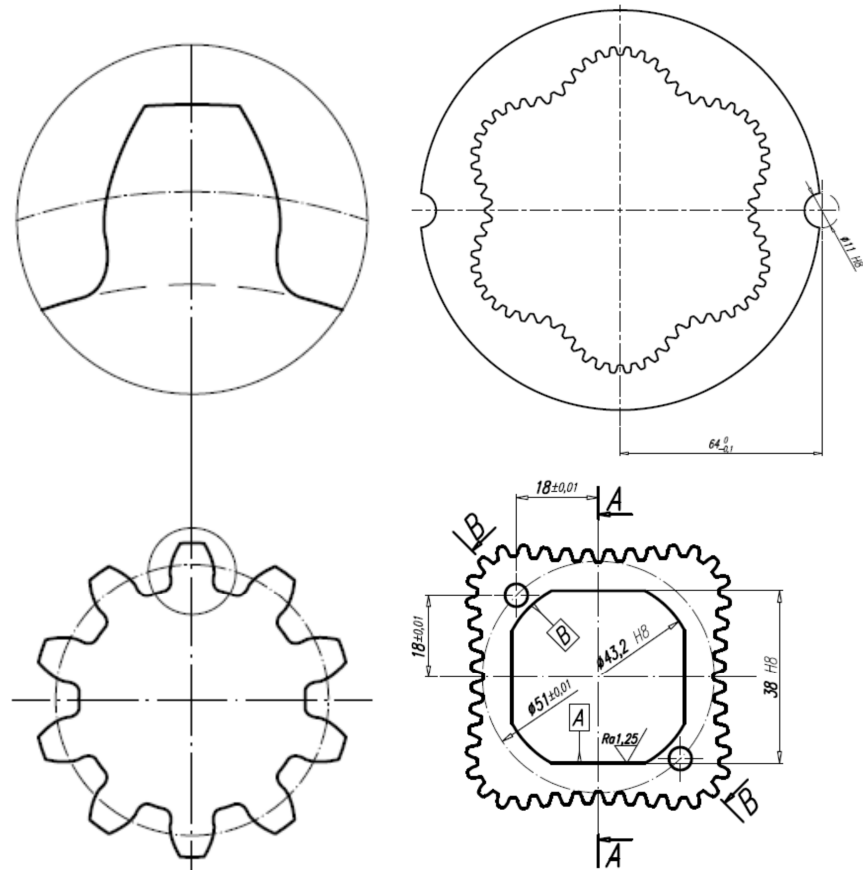
Rys. 13. Kąt obrotu satelity w funkcję kąta obrotu planety. Proces „dłutowania” planety przez satelitę



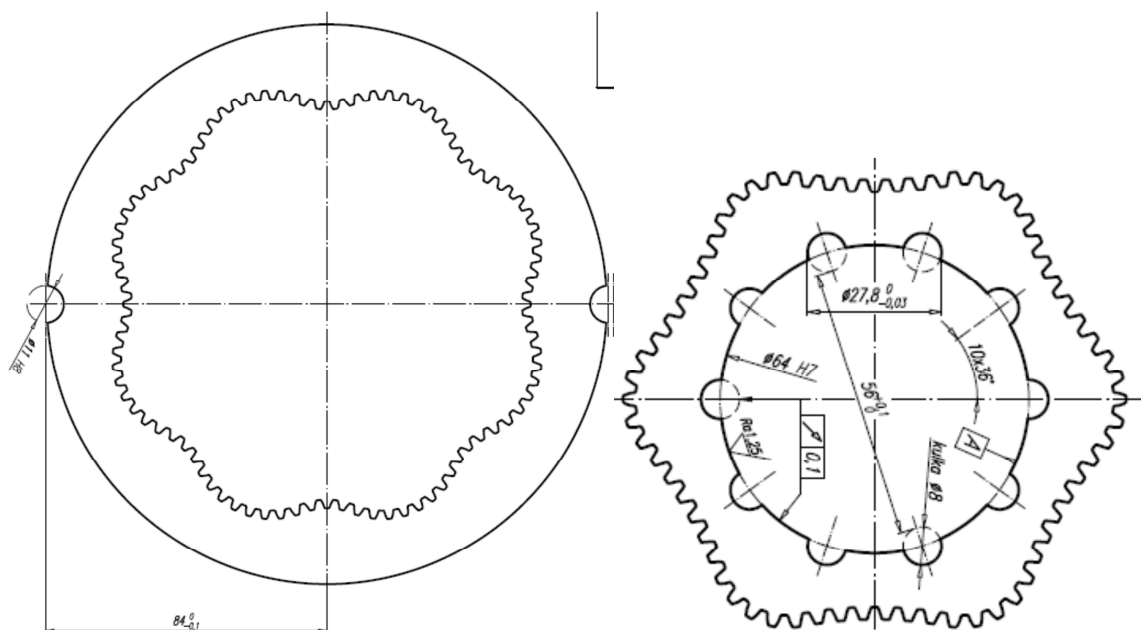
Rys. 14. Kąt obrotu satelity w funkcję kąta obrotu obwodnicy. Proces „dłutowania” obwodnicy przez satelitę

Wygenerowany przez oprogramowanie P. Patrosza mechanizm satelitowy przedstawiłem na rys. 15.

Opracowana przeze mnie metoda umożliwia również stworzenie mechanizmu satelitowego I i III typu. Wygenerowany w programie P. Patrosza mechanizm satelitowy III typu przedstawiłem na rys. 16.



Rys. 15. Elementy mechanizmu satelitowego II typu. Konstrukcja uzębienia wygenerowana w programie P. Patrosza. Konstrukcja objęta patentem nr 218888



Rys. 16. Elementy mechanizmu satelitowego III typu. Satelita jak na rys. 15. Konstrukcja uzębienia wygenerowana w programie P. Patrosza. Konstrukcja objęta patentem nr 218888

Ze względu na to, że firma FAMA w Gniewie zadeklarowała zakup licencji na nowo opracowany mechanizm satelitowy więc jestem zobligowany do niepublikowania metod projektowania tego mechanizmu oraz niepublikowania kodu programu komputerowego (Oświadczenie firmy FAMA w załączniku).

4.3.2. Silniki satelitowe SM, pompy satelitowe PSM i agregat pompowy SAP

Opracowałem konstrukcję i przeprowadziłem badania następujących prototypów (opisane w rozdziale 3.3.2):

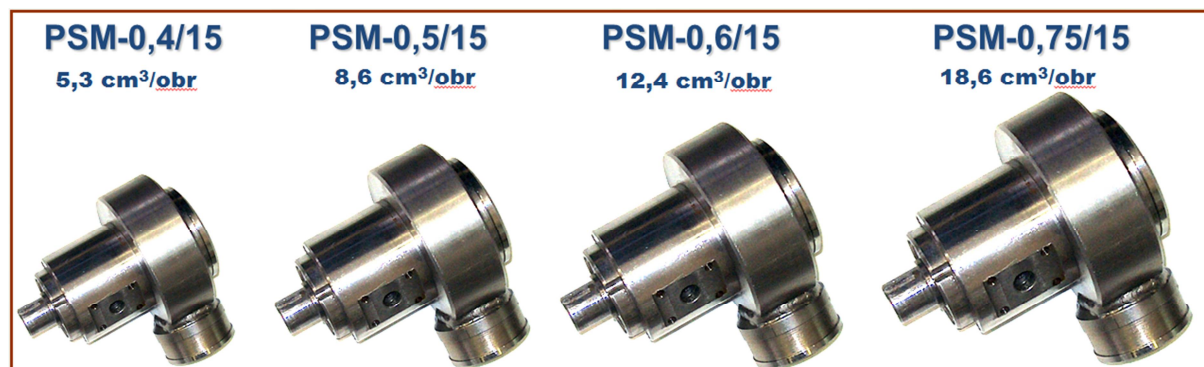
- silnik satelitowy SM (rys. 3);
- pompa satelitowa PSM (rys. 4) (patent nr 217363);
- satelitowy agregat pompowy SAP (rys. 5);
- pompę agregatu SAP (rys. 6) (patent nr 218888, zgłoszenie patentowe nr P.403060).

Poza wyżej wymienionymi maszynami jestem autorem projektów prototypów silników satelitowych o module zębów mechanizmu 0,4, 0,5 i 0,6 mm (rys. 17).



Rys. 17. Typoszereg silników satelitowych SM

Poza pompą PSM (rys. 4) opisaną w monografii byłem współtwórcą pierwszych prototypów pomp satelitowych (rys. 18) (patent nr 216704).



Rys. 18. Typoszereg pomp satelitowych PSM

4.3.3. Przyrząd do badania wysokociśnieniowych uszczelnień ruchu obrotowego

Jestem pomysłodawcą i autorem koncepcji specjalistycznego przyrządu do badania wysokociśnieniowych uszczelnień w ruchu obrotowym (rys. 8) objętego patentem nr 222611.

Charakterystyczną cechą przyrządu jest to, że badane są dwa uszczelnienia, które współpracują z odpowiednimi czopami wału. Rolę czopów wału pełnią tu tulejki o grubości 1 mm (poz. 9 na rys. 8). Tulejki te na potrzeby badań zostały wykonane z różnych materiałów i o różnym stanie warstwy wierzchniej. Para jednakowych uszczelnień i tulejek uszczelnia komorę KC wypełnioną cieczą pod ciśnieniem. Przyrząd umożliwia badanie uszczelnień o średnicy wewnętrznej równej 25mm i pomiar następujących wartości:

- prędkości obrotowej wału,
- temperatury w obrębie powierzchni styku uszczelnienia i wału,

- momentu tarcia generowanego przez uszczelnienie (co jest szczególną zaletą tego przyrządu. W innych znanych w świecie rozwiązaniach pomierzony moment jest sumą momentu tarcia w łożyskach i w badanych uszczelnieniach),
- temperatury cieczy smarującej,
- ciśnienia w dławnicy,
- natężenie przepływu cieczy smarującej,
- wartości przecieku czynnika.

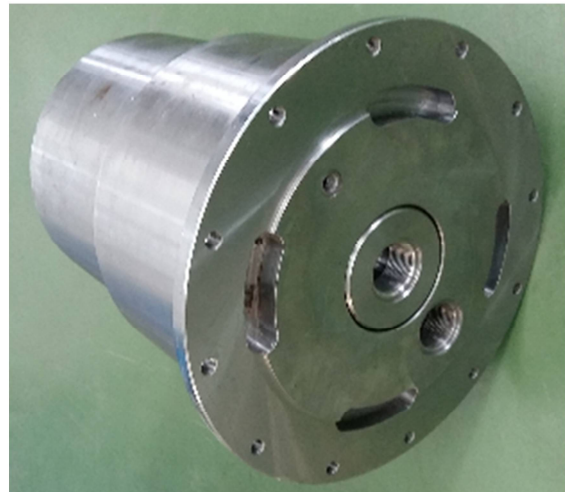
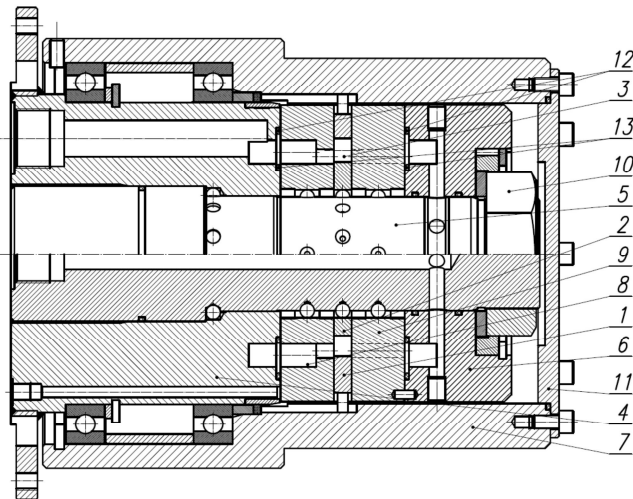
4.3.4. Silniki satelitowe SWK

Jestem pomysłodawcą i autorem konstrukcji dwóch silników z obracającym się korpusem oznaczonych symbolem SWK. Obliczenia numeryczne naprężeń i deformacji elementów silników przeprowadził P. Patrosz.

Pierwszy silnik (rys. 7) zawiera mechanizm satelitowy II typu przedstawiony na rys. 15.

Drugi silnik (rys. 19) zawiera mechanizm satelitowy III typu przedstawiony na rys. 16.

Konstrukcja obydwu silników jest przedmiotem europejskiego zgłoszenia patentowego nr 15003680.4/ EP15003680. W konstrukcji tej zastosowano polski patent nr 218888 i zgłoszenie patentowe nr P.403060.

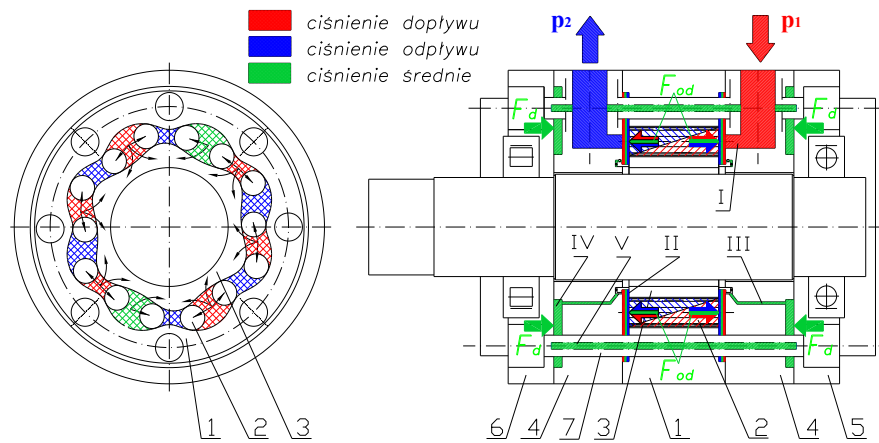


Rys. 19. Silnik SWK-6/8-1,5 (z mechanizmem III typu o module zębów 1,5mm): 1 – obwodnica, 2 – planeta, 3 – satelita, 4 – kolektor przedni, 5 – czop, 6 – kolektor tylny, 7 – korpus, 8 – płyta kompensacyjna przednia, 9 – płyta kompensacyjna tylna, 10 – nakrętka, 11 – pokrywa, 12 – zewnętrzny o-ring pola kompensacyjnego, 13 – wewnętrzny o-ring pola kompensacyjnego.

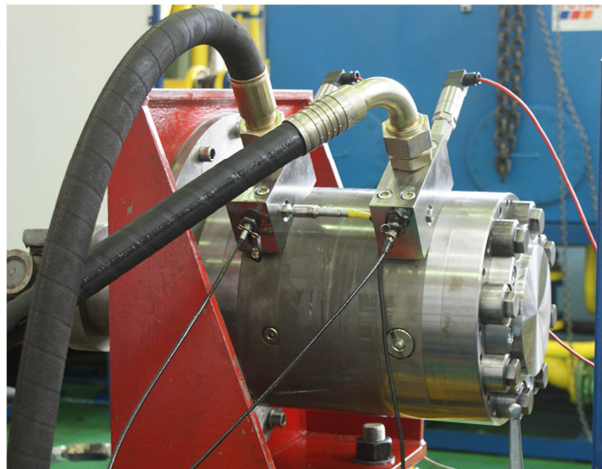
Obydwa silniki zostały opracowane na zlecenie firmy Fama w Gniewie i są wdrażane do produkcji.

4.3.5. Silniki satelitowe HS i HSK

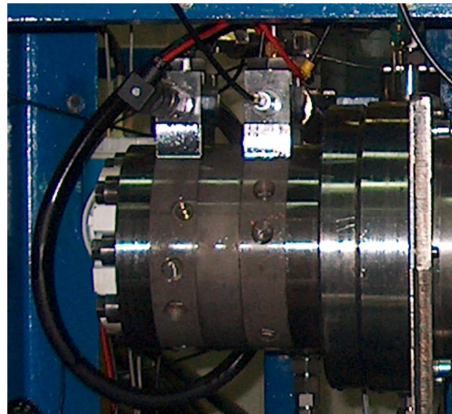
W latach 2010-2011 prowadziłem prace badawczo-rozwojowe dwóch silników satelitowych typu HS o objętości 500 cm³/obr i 4000 cm³/obr oraz dwóch silników typu HSK również o objętości 500 cm³/obr i 4000 cm³/obr (rys. 20, rys. 21 i rys. 22). Silniki te zawierają mechanizm satelitowy III typu. Przy czym w silniku HS zastosowano ewolwentowy zarys zębów mechanizmu roboczego zaś w silniku HSK kołowo-łukowy (rys. 23). Konstrukctorem tych silników jest inż. B. Sieniawski i mgr inż. S. Skorynkiewicz.



Rys. 20. Silnik HS z mechanizmem satelitowym III typu: 1 – obwodnica, 2 – satelity, 3 – planeta, 4 – płyty kompensacyjne, 5 – pokrywa tylna, 6 – pokrywa przednia, 7 – śruba, I – kanał rozrządu, II – luz osiowy, III – kanał zasilający kompensację, IV – przestrzeń kompensacyjna, V – kanał wyrównujący ciśnienie



Rys. 21. Silnik HS o objętości roboczej 4000 cm³/obr (lub HSK – tak samo wyglądają) na stanowisku prób



Rys. 22. Silnik HS o objętości roboczej 500 cm³/obr (lub HSK – tak samo wyglądają) na stanowisku prób



Rys. 23. Mechanizm roboczy o kołowo-lukowym zarysie zębów

Prace realizowane pod moim kierownictwem miały na celu głównie:

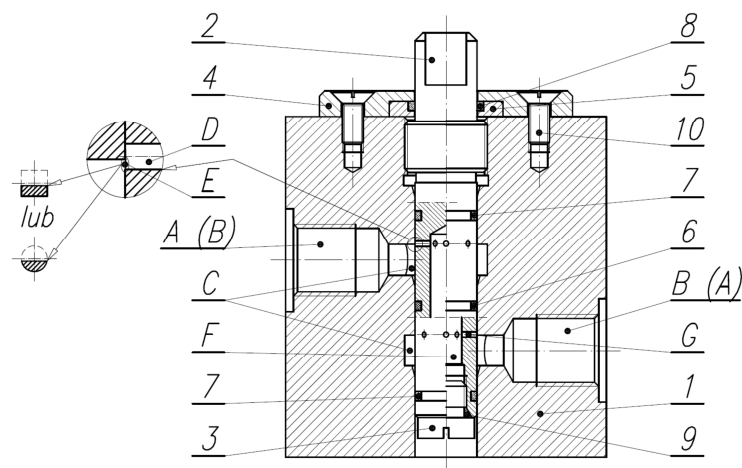
- a) obliczenie naprężeń i odkształceń w elementach silnika i sprawdzenie poprawności zaprojektowania zespołu kompensacji luzów osiowych;
- b) obliczenie i porównanie naprężeń w uzębieniu ewolwentowym i kołowo-lukowym;
- c) eksperymentalne zbadanie własności ruchowych tych silników (badania przy małej prędkości stałej);
- d) eksperymentalne zbadanie poprawności działania zespołu kompensacji luzów osiowych oraz rozrzędu;
- e) eksperymentalne zbadanie charakterystyk silników nieobciążonych i obciążonych w szerokim zakresie prędkości obrotowej;
- f) wykazanie, że silniki z mechanizmem o zębach kołowo-lukowych nadają się do pracy przy ciśnieniu zasilania 35MPa;
- g) sformułowanie zaleceń odnośnie zmian w konstrukcji silników poprawiające ich działanie i sprawność.

4.3.6. Zawory dławiące

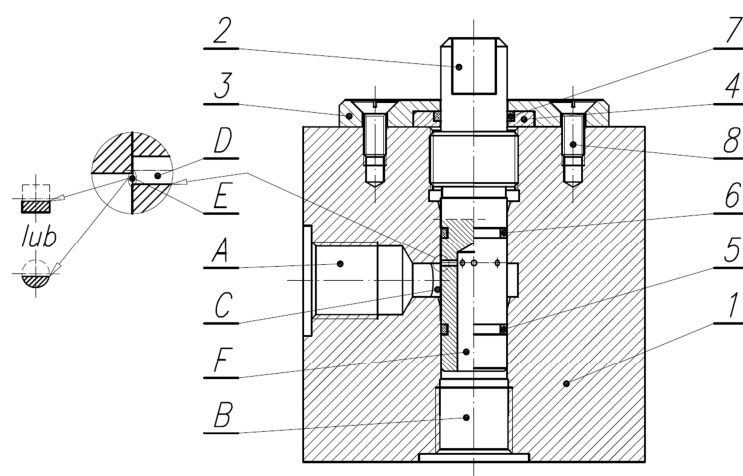
Poza tematyką pomp i silników satelitowych zajmowałem się również zaworami. Szczególnie zainteresowałem się zaworami dławiącymi. W większości zaworów dławiących, zwłaszcza w zaworach odmiany suwakowej, występuje przeciek w szczelinach z przyłącza wyższego ciśnienia do przyłącza niższego ciśnienia. Ogranicza to lub uniemożliwia precyzyjne nastawy zaworu zwłaszcza w zakresie niskich natężeń przepływu przez zawór. Zaobserwowałem, że praktycznie brakuje na rynku nastawialnych zaworów dławiących, które w układach sterowania dławieniowego miałyby możliwość kontrolowanego przepuszczania cieczy w ilości od 0,1 l/min do 2-3 l/min.

W związku z tym opracowałem konstrukcję dwóch zaworów dławiących (rys. 18 i rys. 19). Zawory te charakteryzują się brakiem przecieku w pierścieniowej szczelinie utworzonej przez cylindryczny otwór w korpusie i znajdujący się w nim suwak. Zawory umożliwiają precyzyjną realizację nastaw również w niskim zakresie natężenia przepływu.

Pierwszy zawór (rys. 24) charakteryzuje się hydrostatycznie i hydrodynamicznie odciążonym suwakiem. Drugi zawór (rys. 25) jest zaworem uproszczonym i takiego odciążenia nie posiada.



Rys. 24. Zawór dławiący hydrostatycznie odciążony (patent nr 214473): 1 – korpus, 2 – suwak, 6 i 7 – uszczelki suwaka, A i B – przyłącza, D i G – co najmniej jeden otwór promieniowy w suwaku, E – szczelina dławiąca



Rys. 25. Zawór dławiący (patent nr 214472): 1 – korpus, 2 – suwak, 5 i 6 – uszczelki suwaka, A i B – przyłącza, D – co najmniej jeden otwór promieniowy w suwaku, E – szczelina dławiąca

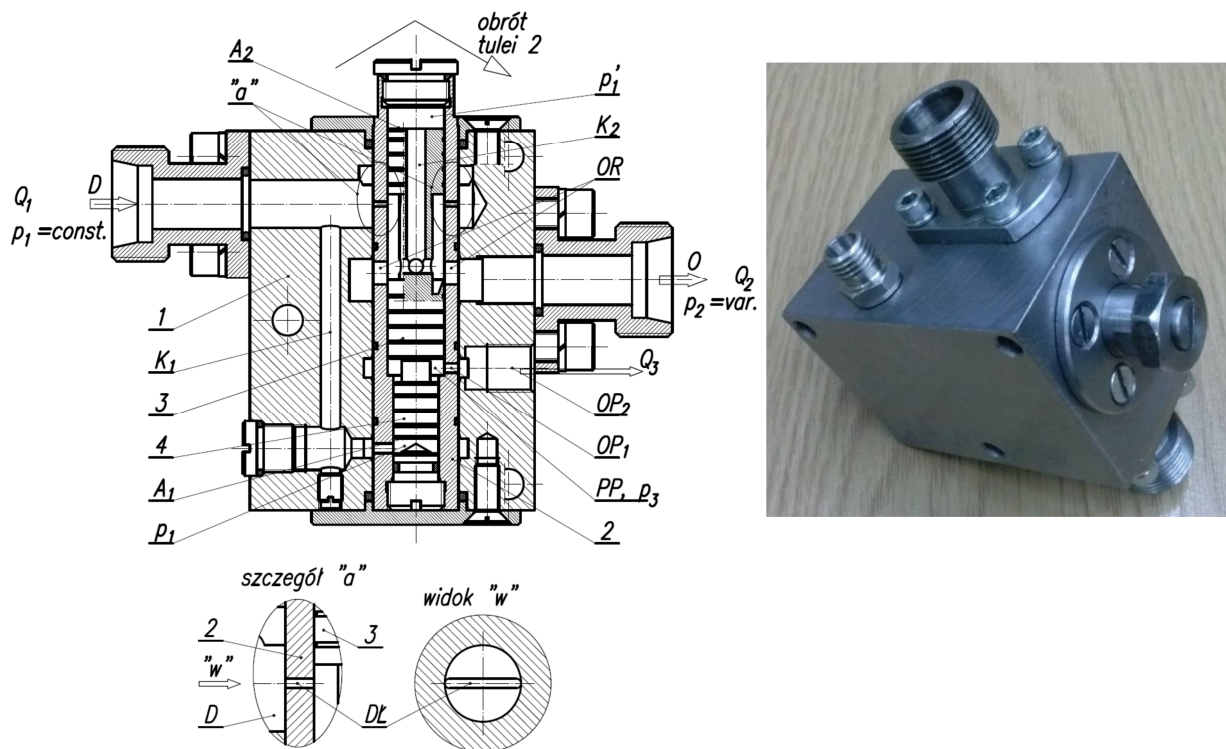
Zawór dławiący wg patentu nr 214473 (rys. 22) został wdrożony w Przedsiębiorstwie Innowacyjno-Technicznym PROJECT Sp. z o. o. w Łęborku. Wdrożenie udokumentowane pismem pt. „Informacja na temat wykorzystania rozwiązania patentowego nr 214473 w konstrukcji sterowania zagęszczarką typ ZGS-60” z dnia 07.01.2015r. (załącznik).

4.3.7. Regulator przepływu

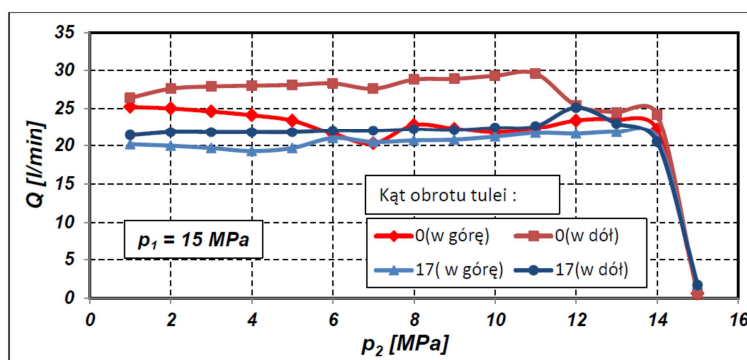
W znanych na rynku regulatorach występują sprężyny podpierające suwak, które mają jednocześnie niekorzystny wpływ na spadek ciśnienia w dławiku regulatora. Niedogodność tę postanowiłem wyeliminować i podjąłem się opracowania konstrukcji regulatora bez tej sprężyny.

W celu utrzymania stałego spadku ciśnienia na dławiku w całym zakresie ciśnienia za regulatorem, zawór różnicowy zastąpiłem zaworem stosunku ciśnień, w którym powierzchnie czoł suwaka są zróżnicowane.

Budowę regulatora przedstawiłem na rys. 26 zaś przykładowe charakterystyki na rys. 27. Obecnie prowadzę dalsze prace nad regulatorem w celu poprawy charakterystyk.



Rys. 26. Regulator przepływu: 2 – tuleja dławiąca, 3 – suwak, 4 – suwak pomocniczy, DŁ – szczelina dławiąca, OR – otwór „zaworu stosunku ciśnień”. Wymiary korpusu: 80x60x56 mm



Rys. 27. Charakterystyki natężenia przepływu w regulatorze w funkcji ciśnienia za regulatorem dla dwóch różnych kątów obrotu tulei 2 przy ciśnieniu zasilającym 15MPa

Wyżej opisany regulator jest rozwiązaniem konstrukcyjnym jak dotąd niespotykanym na rynku. Jego zaletą jest:

- natężenie przepływu cieczy niezależne od ciśnienia obciążenia;
- duży zakres nastawy natężenia przepływu (1÷13);
- małe gabaryty, prosta budowa i technologia wykonania;
- hydrostatycznie odciążona tuleja dławiąca, co sprawia, że moment niezbędny do obrotu tulei (nastawy regulatora) jest niezależny od ciśnień w regulatorze a jego wartość zależy tylko od sił tarcia w uszczelnieniu.

Regulator przepływu został tylko raz pokazany na międzynarodowych targach (Targi ARCHIMEDES w Moskwie w kwietniu 2015 roku, gdzie został nagrodzony srebrnym medalem.

4.3.8. Stanowisko do badań pomp i silników

Badania eksperymentalne wszystkich pomp i silników satelitowych oraz regulatora przepływu przeprowadziłem na stanowisku badawczym, którego jestem pomysłodawcą i autorem

konstrukcji (rys. 28). Stanowisko to w formie podstawowej zbudowałem w ramach swojej pracy doktorskiej. Po doktoracie stanowisko rozbudowałem i doposażyłem w aparaturę pomiarową. Stanowisko to umożliwia:

- badanie pomp i silników hydraulicznych (o objętości roboczej nie większej niż $35\text{cm}^3/\text{obr}$) w układzie z odzyskiem mocy w zakresie prędkości od 30 obr/min do 1500 obr/min;
- badanie pomp w klasycznym układzie dławieniowym;
- badanie zjawisk zachodzących w rozrządzie pompy i silnika oraz badanie zespołu kompensacji luzów (badania przy małej prędkości stałej). W układzie małej prędkości stałej jest możliwe przeprowadzenie badań maszyn wyporowych o objętości do $500\text{cm}^3/\text{obr}$;
- badanie zaworów poprzez zmianę konfiguracji układu hydraulicznego;
- rejestrowanie wszystkich danych pomiarowych w pamięci rejestratora (z częstotliwością próbkowania 60Hz) lub w pamięci komputera.



Rys. 28. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze jest wyposażone:

- a) w napędy elektryczne z możliwością sterowania prędkością obrotową maszyn badanych;
- b) układy pomiaru momentu na korpusie maszyny badanej (nie na wale!);
- c) aparaturę pomiarową klasy 0,1 (czujniki siły do pomiaru momentu, przepływomierze masowe), 0,2 (przepływomierz tłokowy, czujniki ciśnienia) oraz 0,6 (zwykłe manometry zegarowe).

Na wyżej przedstawionym stanowisku prowadzę również zajęcia laboratoryjne ze studentami.

ZAŁĄCZNIKI

1. WYKAZ DOROBKU' zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r. (Dz. U., poz. 1842, rozdział 2, §12.2 pkt 3 i 4)
2. Zaświadczenie o promotorstwie pomocniczym w przewodach doktorskich.
3. Kopia oświadczenia firmy Stosowanie Maszyn.
4. Kopia oświadczenia firmy FAMA Sp. z o. o.
5. Kopie zgłoszeń do UP projektów wynalazczych z podpisami twórców.
6. Kopie dokumentów patentowych.
7. Kopia potwierdzająca rejestrację europejskiego zgłoszenia patentowego.
8. Kopia decyzji o przyznaniu wyróżnienia Very Important Polish Innovator.
9. Kopia pisma Prezesa Naczelnej Organizacji Technicznej.
10. Kopia pisma Sekretarza Generalnego SIMP w sprawie powierzenia obowiązków redaktora działowego w czasopiśmie Hydraulika i Pneumatyka.
11. Kopie dyplomów nagród z targów.
12. Kopia dyplomu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

