

Adam **BARTNICKI**,  
Andrzej **TYPIAK**  
Zbigniew **ZIENOWICZ**

## ZDALNIE STEROWANA LEKKA PLATFORMA Z HYDROSTATYCZNYM UKŁADEM NAPĘDOWYM

**Streszczenie:** W referacie opisano zalety stosowania układów hydrostatycznych do napędu maszyn i pojazdów. Przedstawiono rozwiązanie hydrostatycznego układu napędowego zastosowanego w pojeździe LEWIATAN. Ponadto zaprezentowano wyniki badań hydraulicznego układu skrzętu opracowanego dla wersji bezzałogowej opisanego pojazdu.

**Słowa kluczowe:** hydrostatyczne układy napędowe, pojazdy bezzałogowe, zdalne sterowanie, układ skrzętu

### 1. WPROWADZENIE

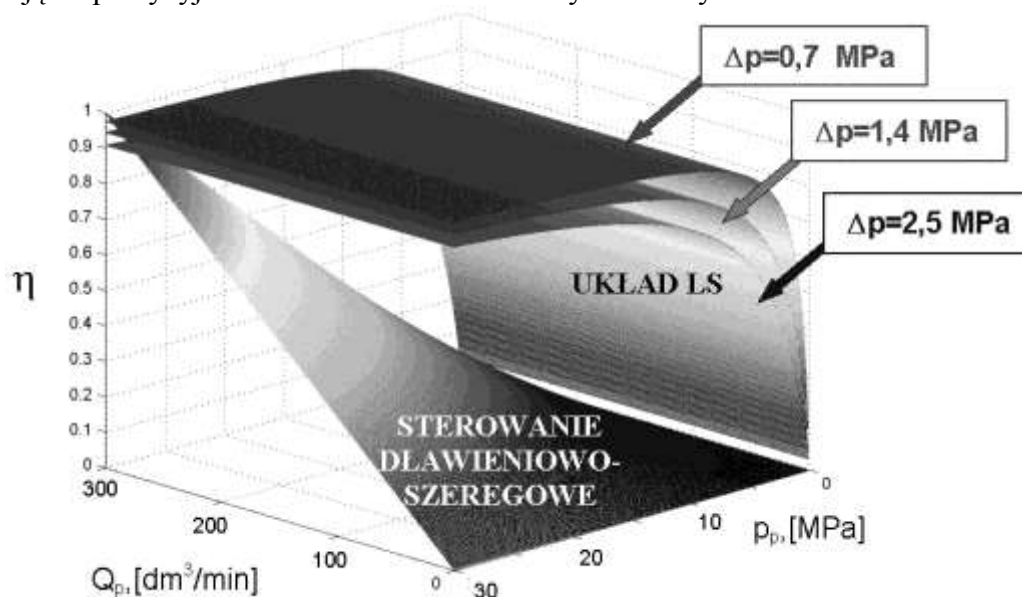
Trudne warunki pracy maszyn inżynierskich i pojazdów wojskowych, duże i zmienne obciążenia ich układów roboczych i jezdnych, eksploatacja w relatywnie niekorzystnych warunkach, sprawiają, że dąży się do efektywniejszych układów przenoszenia mocy, obniżających koszt eksploatacji maszyn i pojazdów. Ponadto powinny one zwiększać bezpieczeństwo pracy, odciążać kierowcę-operatora od nadmiernego wysiłku, oraz zapewniać obniżenie emitowanego przez maszyny hałasu i ciepła. Rozwój elementów hydraulicznych, wzrost ich niezawodność i podatność na sterowanie, sprawił iż hydrostatyczne układy napędowe są coraz częściej stosowane w rozwiązaniach układów napędowych jazdy współczesnych maszyn i pojazdów. Podstawowymi aspektami przemawiającymi za ich stosowaniem są:

- łatwość przenoszenia napędu od silnika spalinowego do kół;
- płynna zmiana przełożenia przekładni;
- wykorzystywanie dużego obszaru pracy silnika spalinowego;
- eliminacja rozłączalnych sprzęgieł, skrzyń biegów, przekładni rozdzielczych za silnikiem napędowym;
- optymalizacja realizowania napędu odwróconego i możliwość zabezpieczenia silnika napędowego przed rozbieganiem;
- zabezpieczenie silnika napędowego przed przeciążeniem;
- możliwość realizowania jazdy z automatyczną zmianą przełożenia,
- szeroki zakres prędkości obrotowych wałów silników hydraulicznych.

Na obecnym etapie rozwoju hydrostatycznych układów napędowych, dąży się do polepszenia ich sprawności i żywotności, zwiększenia dokładności sterowania, a tym samym zwiększenia dokładności wykonywanych zadań technologicznych oraz automatyzacji wybranych ruchów roboczych.

Jednym z takich rozwiązań - zapewniającym wysoką sprawność hydrostatycznych układów napędowych maszyn i pojazdów - są układy z kompensacją obciążenia (load sensing), które w stosunku do układów sterowanych dławieniowo, charakteryzują się wyższą sprawnością w znacznej części zakresu roboczego pomp hydraulicznych (rys.1). Hydrostatyczne układy napędowe z kompensacją obciążenia zapewniają utrzymanie stałych parametrów pracy

układu hydraulicznego bez względu na wielkość i charakter jego obciążenia, a także pozwalają na precyzyjne sterowanie elementami wykonawczymi układu.



**Rys.1. Przykładowe charakterystyki sprawnościowe hydrostatycznych układów napędowych z kompensacją obciążenia i sterowanych dławieniowo:  $\eta$  - sprawność hydrauliczna,  $Q_p$ ,  $p_p$  - wydajność i ciśnienie czynnika roboczego,  $\Delta p$  - różnica ciśnienia niezbędna do działania układu z kompensacją obciążenia**

Kolejnym etapem rozwoju hydrostatycznych układów napędowych są systemy LUDV – niezależnego od obciążenia rozdziału wydajności pompy, w których podobnie jak w układach LS, wartości prędkości roboczych każdego z elementów wykonawczych mogą być precyzyjnie sterowane - bez względu na wielkość i charakter zmian obciążenia zewnętrznego. Podstawową zaletą tego typu układów jest automatyczne redukowanie prędkości wszystkich odbiorników w przypadku, gdy wydajność pompy jest niewystarczająca, aby zapewnić żądaną chłonność (nastawioną zaworem dławiącym) wszystkich odbiorników.

Przedstawione tendencje rozwojowe hydrostatycznych układów napędowych maszyn i pojazdów (coraz częściej wyposażanych w systemy LS lub LUDV) i korzyści wynikające z ich wprowadzania sprawiają, że rozwiązania te obejmują kolejne grupy maszyn i pojazdów.

Z przeprowadzonej analizy literatury wynika, iż maszyny wyposażone w hydrostatyczne układy napędowe charakteryzują się większą precyzją sterowania, mniejszymi nadwyżkami dynamicznymi, lepszą ergonomią i podatnością na zdalne i automatyczne sterowanie.

## 2. HYDROSTATYCZNY UKŁAD NAPĘDOWY POJAZDU LEWIATAN

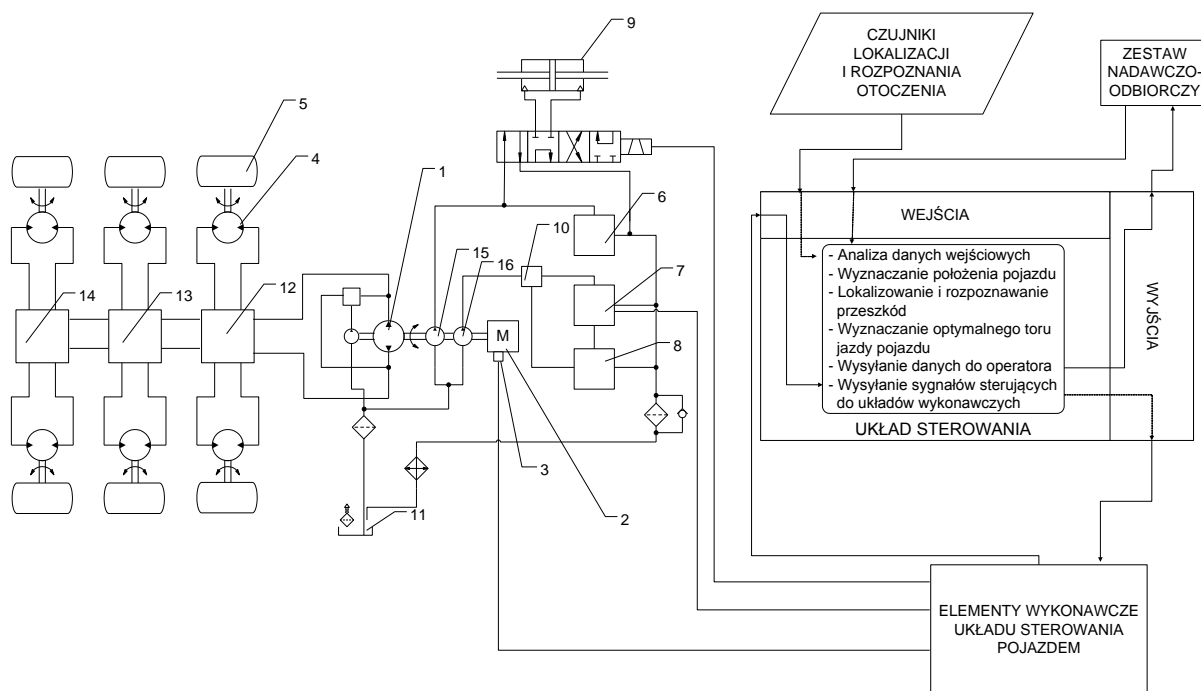
Zalety hydrostatycznych układów napędowych sprawiły, że znajdują one coraz szersze zastosowanie jako układy napędowe szeregu maszyn i pojazdów, szczególnie tych, które wymagają dużej precyzji sterowania lub wprowadzenia zdalnego i automatycznego sterowania. Wśród pojazdów wyposażonych w hydrostatyczne układy napędowe jazdy można znaleźć pojazdy rodzimej produkcji. Przykładem takiego pojazdu jest lekki wielozadaniowy

pojazd Lewiatan (rys. 2), który powstał w wyniku wzajemnej współpracy firm BIBUS MENOS, HYDROMEGA oraz Wojskowego Instytutu Techniki Panczernej i Samochodowej.



**Rys. 2. Wielozadaniowy transporter Lewiatan**

Pojazd może być wykorzystany zarówno jako nośnik niewielkich ładunków (do 1,5 t) jak również jako pojazd bazowy-nośnik narzędzi lub osprzętów roboczych do wykonywania prac inżynierskich. Dobre właściwości trakcyjne w trudnodostępnym terenie jak również zdolność pokonywania przeszkód wodnych zdecydowanie rozszerza zakres realizowanych przez pojazd prac. W pojeździe tym koła napędowe są niezależne napędzane hydraulicznymi silnikami gerotorowymi rys. 3 - stałej chłonności, zasilanymi pompą zmiennej wydajności sterowanej za pomocą serwozaworu. W czasie wyjeżdżania pojazdu z przeszkody wodnej możliwa jest jednoczesna praca śrub napędowych i wybranych silników kół.



**Rys. 3. Schemat hydrostatycznego układu napędowego wraz z systemem sterowania pojazdem:**

1 – pompa główna układu jazdy; 2 – silnik spalinowy; 3 – listwa zębata pompy wtryskowej; 4 – silnik hydrauliczny napędu koła jezdnego; 5 - koło jezdne; 6 – blok hydrauliczny układu kierowniczego; 7 – blok hydrauliczny układu hamulcowego; 8 – blok hydrauliczny zasilania urządzeń zewnętrznych; 9 – siłownik układu skrętu; 10 – blok rozdziału mocy; 11 – zbiornik oleju; 12 – blok sterujący osi przedniej; 13 – blok

sterujący osi środkowej; 14 – blok sterujący osi tylnej; 15 – pompa układu skrętu; 16 - pompa układu hamulcowego i zasilania urządzeń zewnętrznych.

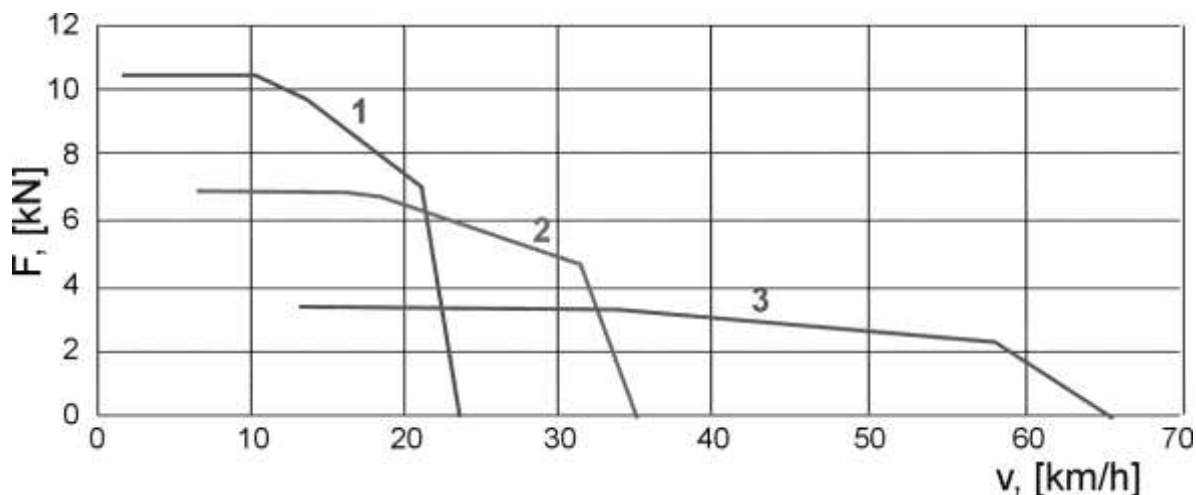
W układzie zastosowano specjalne zawory, bloki sterujące osiami napędowymi umożliwiające:

- włączanie i wyłączanie poszczególnych silników;
- synchronizację pracy kół napędowych;
- skręt w miejscu;
- skręt i wybór kierunku pływania;
- wybór kierunku jazdy pojazdu.

Do zasilania wspomaganie układu kierowniczego, hamulcowego oraz odbiorników zewnętrznych zainstalowano za pompą główną pompy pomocnicze stałej wydajności. Sterowanie przekładnią hydrostatyczną realizowane jest poprzez elektroniczny układ automatycznej zmiany przełożenia oddziałujący na wydajność pompy. Ze względu na wymaganą rozpiętość przełożeń i zastosowanie silników o stałej objętości roboczej wybór wstępny przełożeń terenowych lub szosowych dokonuje się przez odłączanie silników kolejnych osi. Uzyskuje się w ten sposób zmienną, sumaryczną chłonność silników. Na rys. 4 przedstawiono charakterystykę trakcyjną pojazdu, na której poszczególne krzywe przedstawiają różne warianty przeniesienia napędu na koła napędowe pojazdu:

- a) 1 – napęd realizowany przez sześć silników,
- b) 2 - napęd realizowany przez cztery silniki,
- c) 3 - napęd realizowany przez dwa silniki.

Jednostką napędową wybrano silnik o zapłonie samoczynnym z doładowaniem firmy KUBOTA o mocy ciągłej netto 55 kW.

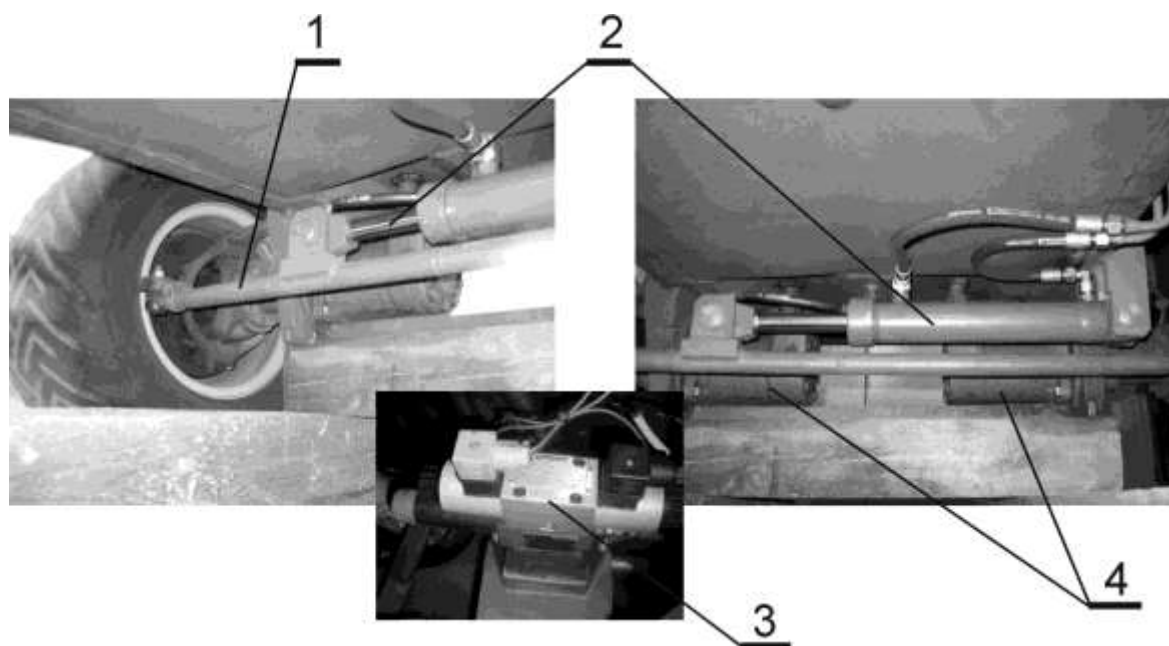


**Rys. 4. Charakterystyka trakcyjna pojazdu**

Zgodnie z charakterystyką pojazd o masie własnej 1,8 t, zakładając w warunkach terenowych wartość współczynnika oporów toczenia 0,02, jest w stanie pokonać wzniesienie o nachyleniu 85%. Prędkość maksymalna pojazdu w jeździe po drodze utwardzonej wynosi ok. 60 km/h. Operator (patrz wykres), ma możliwość wyboru dwóch zakresów przełożeń terenowych i jednego zakresu przełożeń szosowych.

### 3. HYDROSTATYCZNY UKŁAD SKRĘTU POJAZDU LEWIATAN

W wersji załogowej pojazd Lewiatan wyposażono w układ skrętu ze wspomaganiem hydraulicznym. W wersji bezzałogowej pojazd wyposażono w hydrostatyczny układ skrętu, w którym zastosowano dwa siłowniki hydrauliczne, sterowane rozdzielaczami hydraulicznymi typu „open-center”, bezpośrednio przemieszczające dźwignie układu skrętu (rys. 5).



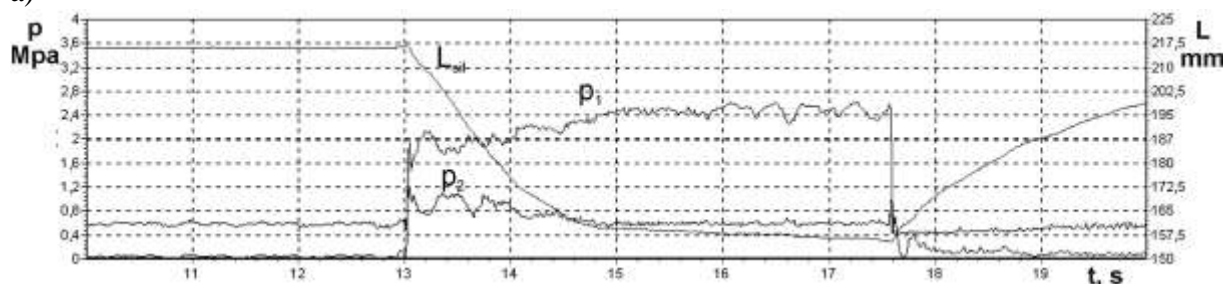
**Rys. 5. Hydrostatyczny układ skrętu pojazdu bezzałogowego:**  
1 - dźwignia układu skrętu, 2 - siłowniki układu skrętu, 3 - rozdzielacz open-center,  
4 - silniki gerotorowe układu napędowego jazdy

Zaproponowane rozwiązanie hydrostatycznego układu skrętu umożliwia zarówno zdalne (elektryczne) jak i klasyczne (manualne) sterowanie pojazdem. Dla potrzeb określenia przydatności hydrostatycznego układu napędowego skrętu pojazdu w procesie automatycznego i zdalnego sterowania, przeprowadzono jego badania. Badano zarówno czas pełnego przesterowania układu, a więc uzyskania maksymalnego kąta skrętu, jak również minimalne promienie skrętu pojazdu, jako jeden z parametrów decydujących o mobilności platformy. Badania prowadzono na różnych rodzajach gruntu i przy różnych prędkościach jazdy pojazdu, zarówno przy skręcie w lewo jak i w prawo.

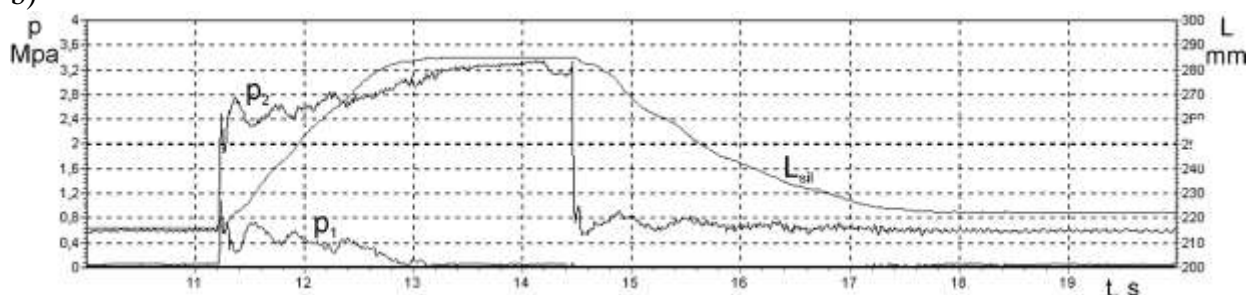
Na rys. 6 przedstawiono wybrane wyniki badań układu przy ruchu pojazdu po gruncie utwardzonym, przy skręcie w lewo – rys. 6a i w prawo– rys. 6b. W obu przypadkach czas pełnego przesterowania kół skrętnych pojazdu wyniósł około 2s, co odpowiada czasowi w jakim operator dokonuje skrętu kół w trybie manualnego sterowania. Przeprowadzone pomiary minimalnego promienia skrętu wykazały, że pojazd przy tych samych warunkach skrętu, przy prędkości pojazdu ok.10 km/h, nawierzchni utwardzonej i równomiernym ciśnieniu powietrza w ogumieniu, posiada różne minimalne promienie skrętu w lewo (4,9 m) i w prawo (5,2 m). Na rys. 6 c przedstawiono przebiegi ciśnień i przemieszczenia siłownika układu skrętu przy próbie jazdy ze stałym promieniem skrętu. Z przedstawionych

charakterystyk wynika iż, aby utrzymać stały promień skrętu pojazdu czy też poruszać się pojazdem w kierunku na wprost konieczna jest ciągła korekta położenia siłownika układu skrętu.

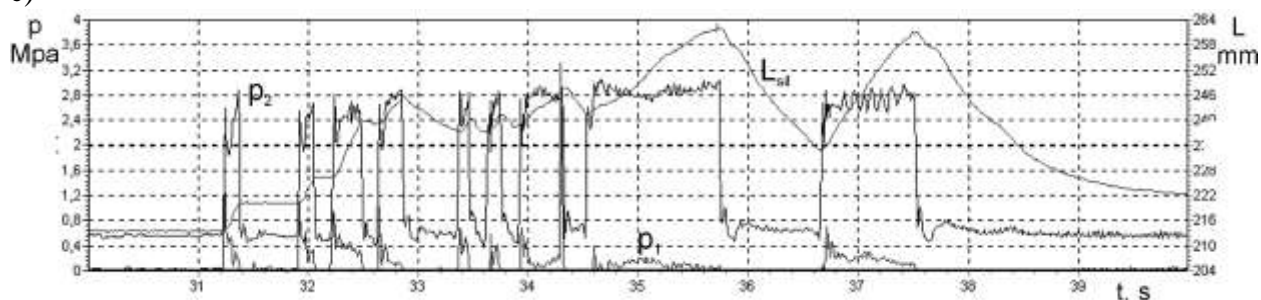
a)



b)



c)



**Rys. 6. Wybrane wyniki badań doświadczalnych hydrostatycznego układu skrętu bezzałogowej platformy lądowej:**

a) skręt w lewo, b) skręt w prawo, c) jazda ze stałym promieniem skrętu;  $p_1$  – ciśnienie po stronie tłoczyskowej siłownika,  $p_2$  – ciśnienie po stronie beztłoczyskowej siłownika,  $L_{sil}$  – przemieszczenie tłoczyska siłownika

#### 4. WNIOSKI

Zalety współczesnych elementów hydrostatycznych układów napędowych, ich podatność na zdalne i automatyczne sterowanie sprawiają, że są one coraz częściej stosowane w układach napędowych maszyn i pojazdów.

Przedstawione rozwiązanie zdalnie sterowanego pojazdu kołowego „Lewiatan”, może stanowić bazę dla szerokiej gamy prac w problematyce rozwoju bezzałogowych pojazdów tej klasy.

Otrzymane wyniki wstępnych badań przedstawionego w referacie rozwiązania hydrostatycznego układu skrętu potwierdziły przydatność tego rodzaju rozwiązań. Jednak konieczne jest prowadzenie dalszych prac na rozwiązaniem zapewniającym utrzymanie

stałych, założonych kątów skrętu.

## 5. LITERATURA

- [1] BARTNICKI A., KUCZMARSKI F.: Badanie statycznych i dynamicznych właściwości hydrostatycznych układów napędowych z kompensacją obciążenia, XVI Konferencja Naukowa „Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych”, Zakopane 2003.
- [2] CHODKOWSKI A., BURDZIŃSKI Z., BALCERZAK J., KOŁODZIEJ W., ORLIK L: Terenowe pojazdy kołowe, Materiały konferencyjne WITPiS 1981.
- [3] GARBACIK A. i inni: Kierunki rozwoju napędów i konstrukcji maszyn roboczych, Fluid Power Net Publication, Kraków 1999
- [4] GARBACIK A. i inni: Studium projektowania układów hydraulicznych, Ossolineum, Kraków 1997.
- [5] Materiały projektowo techniczne firmy HYDROMEGA Sp. z o.o.
- [6] Materiały reklamowe firm: AHLMANN, HYDREMA, WAY INDUSTRY SA.
- [7] POMIERSKI W.: Zastosowanie modeli matematycznych strat mocy i objętościowych w projektowaniu napędu hydrostatycznego, Materiały konferencji: Napęd, Sterowanie, Automatyzacja Maszyn Roboczych i Pojazdów -WAT 2000.
- [8] POMIERSKI W., SIEJDA Z., ZIENOWICZ Z.: Napęd lekkiego wielozadaniowego transportera, nośnika uzbrojenia - Lewiatan 5SG, Materiały konferencyjne: Napędy i Sterowanie 2002 VIII Seminarium MTG, Gdańsk 2002.

## REMOTE CONTROLLED LIGHT PLATFORM WITH HYDROSTATIC DRIVING SYSTEM

**Abstrakt:** In this paper advantages from using hydrostatic driving system in machines and vehicles are described. Application hydrostatic driving systems in the vehicle called LEVIATAN is presented. Further more results research into hydraulic steering system applying in unmanned ground vehicle are shown.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Arkadiusz MEŻYK