

*hydrostatyczne układy napędowe,  
zdalnie sterowane platformy,  
burtowy układ skrętu*

Adam BARTNICKI<sup>1</sup>  
Tomasz MUSZYŃSKI<sup>2</sup>  
Piotr SPRAWKA<sup>3</sup>

### **HYDROSTATYCZNY UKŁAD NAPĘDOWY TRÓJOSIOWEJ PLATFORMY WYSOKIEJ MOBILNOŚCI O SKRĘCIE BURTOWYM**

*Dokonano przeglądu pojazdów lądowych wyposażonych w hydrostatyczne układy napędowe i przedstawiono zalety tych układów. Podjęto problematykę zasadności stosowania burtowych układów skrętu w pojazdach lądowych ze szczególnym uwzględnieniem zdalnie sterowanych robotów mobilnych. Zapropozowano koncepcję hydrostatycznego układu napędowego trójosiowej platformy wysokiej mobilności o skręcie burtowym.*

### **HYDROSTATIC DRIVING SYSTEM FOR TRI-AXIAL HIGH MOBILITY SIDE- TURNING PLATFORM**

*The paper presents the review of ground vehicles equipped with hydrostatic driving system and to analyse the merit this systems. The problem of using the side-turning ground platforms was presented in aspect of remote – controlling. The concept of hydrostatic driving system for tri-axial ground high mobility platform was proposed.*

#### **1. WSTĘP**

Zadania stawiane współczesnym maszynom inżynierskim, złożoność realizowanych przez nie procesów roboczych, zmienne obciążenia ich układów wykonawczych, trudne warunki eksploatacji, a także dążenie do poprawy komfortu pracy operatora powodują, iż poszukuje się efektywniejszych układów przenoszenia mocy, obniżających koszt eksploatacji maszyn.

Postępujący jednocześnie rozwój elementów hydraulicznych, ich niezawodność i podatność na sterowanie, sprawia że coraz częściej w rozwiązaniach układów napędowych współczesnych maszyn i pojazdów stosowane są hydrostatyczne układy napędowe. Pełne wykorzystanie potencjalnych możliwości tychże układów napędowych możliwe jest jedynie w przypadku wprowadzenia nowoczesnych systemów sterowania nimi.

---

<sup>1</sup>Wojskowa Akademia Techniczna, 00-908 Warszawa, ul.gen. S.Kaliskiego 2, [abartnicki@wat.edu.pl](mailto:abartnicki@wat.edu.pl)

<sup>2</sup>Wojskowa Akademia Techniczna, 00-908 Warszawa, ul.gen. S.Kaliskiego 2, [tmuszynski@wat.edu.pl](mailto:tmuszynski@wat.edu.pl)

<sup>3</sup>Wojskowa Akademia Techniczna, 00-908 Warszawa, ul.gen. S.Kaliskiego 2, [psprawka@wat.edu.pl](mailto:psprawka@wat.edu.pl)

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.

Precyzja sterowania nabiera szczególnego znaczenia w przypadku realizacji zadań związanych z wykrywaniem, podejmowaniem i neutralizacją improwizowanych ładunków wybuchowych przez roboty inżynieryjne. O powodzeniu tego typu misji decyduje przede wszystkim platforma wysokiej mobilności wyposażona w stosowny osprzęt roboczy. Wymóg precyzyjnego podejścia do podejmowanego obiektu, wysoka manewrowość w ciasnych pomieszczeniach w połączeniu z dużą dynamiką pojazdu i czasem jego pracy, powoduje, że dobrym rozwiązaniem układu napędowego tego typu maszyny wydaje się połączenie hydrostatycznego układu napędowego jazdy z burtowym układem skrętu.

## **2. HYDROSTATYCZNE UKŁADY NAPĘDOWE W MASZYNACH I POJAZDACH**

Podstawowymi aspektami przemawiającymi za stosowaniem hydrostatycznych układów napędowych w maszynach i pojazdach są:

- łatwość przenoszenia napędu od silnika spalinowego do kół, unikanie zwiększających masę i gabaryty wałów napędowych,
- płynna zmiana przełożenia przekładni,
- wykorzystywanie dużego obszaru pracy silnika spalinowego,
- eliminacja rozłączalnych sprzęgieł, skrzyń biegów, przekładni rozdzielczych za silnikiem napędowym,
- eliminacja przekładni rozdzielczych za skrzyniami biegów, ze względu na łatwość przenoszenia napędu, wykorzystując energię hydrauliczną cieczy,
- możliwość realizowania napędu odwróconego i zabezpieczenia silnika napędowego przed rozbieganiem podczas tego napędu,
- zabezpieczenie silnika napędowego przed przeciążeniem,
- możliwość realizowania jazdy z automatyczną zmianą przełożenia,
- szeroki zakres prędkości obrotowych wałów silników hydraulicznych.

Na rynku maszyn i pojazdów można spotkać szereg przykładów wykorzystania układów hydrostatycznych w ich układach napędowych jazdy i osprzętu roboczego [1]. Na rys.1 i 2 przedstawiono dwa sześciokołowe pojazdy, w których wykorzystano hydrostatyczne układy napędowe: pojazd brytyjskich wojsk desantowych Supacat MK111 oraz polski bezzałogowy pojazd rozpoznawczo-bojowy Lewiatan ZS, w których hydrostatyczny układ napędowy wykorzystano do napędu ich jazdy. Oba te pojazdy wyposażone są w klasyczne, zwrotnicowe układy skrętu, co znacznie pogarsza ich manewrowość, a tym samym wydłuża czas realizacji stawianych zadań. Znacznie lepszym rozwiązaniem wydaje się burtowy układ skrętu, wykorzystywany w pojazdach gąsienicowych, a także w niektórych maszynach i pojazdach kołowych. Duże opory ruchu powstające w procesie skrętu burtowego pojazdów kołowych powodują, że tego typu rozwiązanie znalazło zastosowanie przede wszystkim w mini maszynach i małych pojazdach. Przykładem takich rozwiązań jest rodzina mini ładowarek, które produkowane są na całym świecie przez czołowych dostawców maszyn inżynieryjnych – rys.3. Bardzo ważnym obszarem wykorzystania skrętu burtowego jest rodzina zdalnie sterowanych robotów (rys.4), które w dobie zagrożeń terrorystycznych znajdują coraz szersze

zastosowanie w realizacji zadań związanych z narażeniem życia i zdrowia człowieka. Wykorzystanie skrętu burtowego znacznie poprawia manewrowość tych maszyn i pojazdów, co w przypadku tych ostatnich nabiera szczególnego znaczenia i niejednokrotnie umożliwia realizację stawianych zadań.



*Rys.1. Sześciokołowy pojazd brytyjskich wojsk desantowych Supacat MK111 z hydrostatycznym układem napędowym*



*Rys.2. Sześciokołowy polski bezzałogowy pojazd rozpoznawczo-bojowy Lewiatan ZS z hydrostatycznym układem napędowym*



Rys.3. Mini ładowarki kołowe o skręcie burtowym

a)



b)



c)



d)



Rys.4. Zdalnie sterowane roboty o skręcie burtowym: a) Robot Defender D2 (Wielka Brytania), b) holenderski pojazd EyeRobot, c) pojazd Morri (Finlandia), d) pojazd KNIGHT (Niemcy).

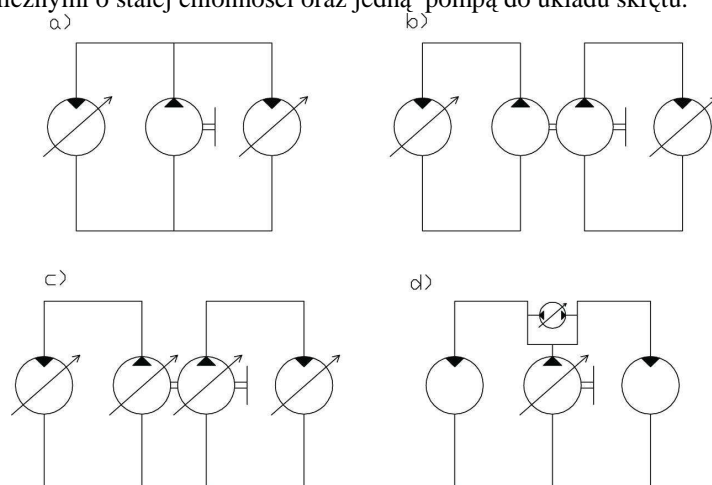
Zdalnie sterowane roboty wyposażone są zwykle w elektryczne układy napędowe, których niewątpliwą zaletą jest podatność na zdalne sterowanie. Ich wadą jest stosunkowo

krótki czas pracy, ograniczony pojemnością akumulatorów, których masa dodatkowo pogarsza właściwości trakcyjne platform.

### 3. KONCEPCJA HYDROSTATYCZNEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO TRÓJOSIOWEJ PLATFORMY WYSOKIEJ MOBILNOŚCI O SKRĘCIE BURTOWYM

Układ skrętu burtowego wymusza konieczność różnicowania prędkości kół (gąsienic) po prawej i lewej stronie pojazdu. Efekt ten można uzyskać poprzez różne konfiguracje elementów wykonawczych układu (rys.5):

- układ z jedną pompą hydrauliczną o stałej wydajności i dwoma silnikami hydraulicznymi o zmiennej chłonności,
- układ z dwiema pompami hydraulicznymi o zmiennej wydajności i dwoma silnikami hydraulicznymi o stałej chłonności,
- układ z dwiema pompami hydraulicznymi o zmiennej wydajności i dwoma silnikami hydraulicznymi o zmiennej chłonności,
- układ z dwiema pompami hydraulicznymi o zmiennej wydajności i dwoma silnikami hydraulicznymi o stałej chłonności oraz jedną pompą do układu skrętu.

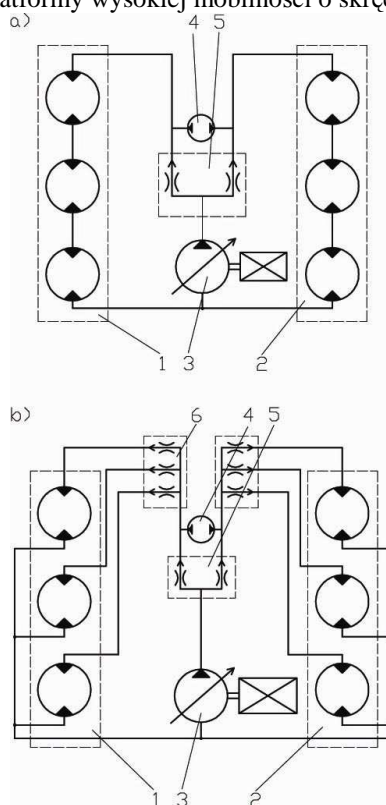


Rys.4. Schematy hydrauliczne hydrostatycznych układów napędowych jazdy maszyn i pojazdów o skręcie burtowym: a) pompa hydrauliczna o stałej wydajności i silniki hydrauliczne o zmiennej chłonności, b) dwie pompy o zmiennej wydajności i dwa silniki hydrauliczne o stałej chłonności, c) pompy hydrauliczne o zmiennej wydajności i silniki hydrauliczne o zmiennej chłonności, d) pompa hydrauliczna o zmiennej wydajności i silniki hydrauliczne o stałej chłonności oraz pompa do układu skrętu

W opracowywanej koncepcji hydrostatycznego układu napędowego trójosiowej platformy wysokiej mobilności o skręcie burtowym zaproponowano konfigurację z jedną pompą hydrauliczną o zmiennej wydajności i silnikami o stałej chłonności (rys.4d). W rozwiązaniach tego typu skręt realizowany jest przez zróżnicowanie ilości czynnika

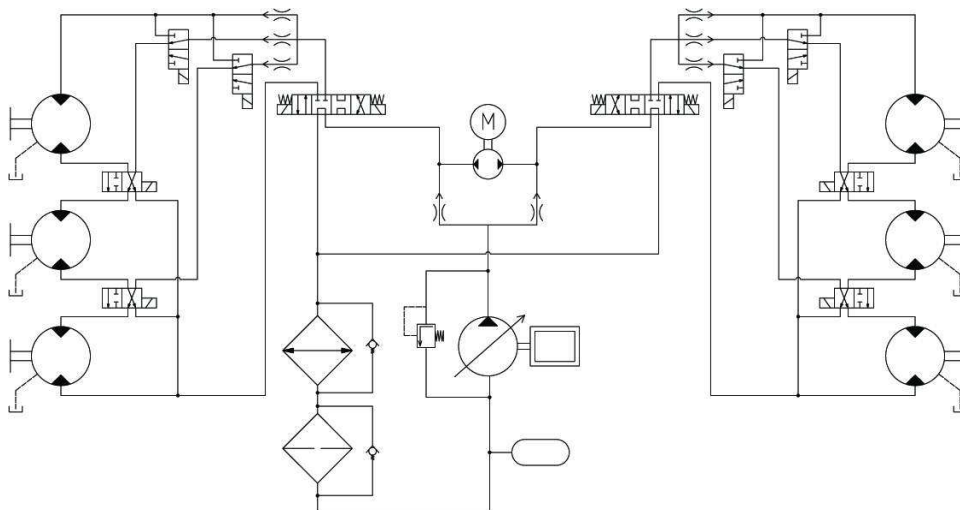
roboczego dopływającego do silników prawej i lewej burty pojazdu dodatkową pompą układu skrętu, której zadaniem jest przetłaczanie cieczy roboczej z linii hydraulicznej jednej burty na drugą. Zakłada się, iż pojazd będzie posiadał dwa zakresy prędkości poruszania się: szosowy i terenowy. Pierwszy zakres realizowany będzie przy szeregowym połączeniu silników hydraulicznych (rys.5a). Konfiguracja taka zapewni przepływ  $\frac{1}{2}$  objętości cieczy roboczej generowanej przez pompę hydrauliczną przez każdy z silników prawej lub lewej burty, co umożliwi osiągnięcie maksymalnych prędkości jazdy pojazdu. Połączenie równoległe zapewni rozwinięcie maksymalnej siły uciążu przy niewielkiej prędkości roboczej pojazdu (warunki urabiania gruntu). Zapewnia to pracę silników z maksymalnym, możliwym do osiągnięcia momentem obrotowym z jednoczesnym zachowaniem równomierności prędkości obrotowej kół każdej z burt.

Na podstawie przyjętych założeń opracowano schemat hydrostatycznego układu napędowego trójosiowej platformy wysokiej mobilności o skręcie burtowym (rys.6).



Rys.5. Schemat ideowy hydrostatycznego układu napędowego trójosiowej platformy wysokiej mobilności o skręcie burtowym: a) zakres prędkości szosowych – połączenie szeregowe, b) zakresu prędkości terenowych – połączenie równoległe gdzie: 1 – lewa burta pojazdu, 2 – prawa burta pojazdu, 3 – pompa główna zasilania układu hydraulicznego, 4 – pompa układu skrętu, 5 – dzielnik przepływu podwójny, 6 – dzielnik przepływu potrójny





Rys.6. Schemat hydrostatycznego układu napędowego trójosiowej platformy wysokiej mobilności o skręcie burtowym

Analiza oporów toczenia, skrętu i sił przyczepności układu jezdny platformy dla różnych warunków terenowych (kategoria gruntu, rodzaj podłoża, pochylenie wzdłużne i poprzeczne terenu), określenie strat hydraulicznych i mechanicznych, pozwoliło dobrać główne jednostki układu napędowego pojazdu i określić zapotrzebowanie mocy hydrostatycznego układu napędowego. W efekcie przeprowadzonych obliczeń dobrano główną jednostkę napędową pojazdu – silnik spalinowy Kubota V3600-T-E3B, pompę hydrauliczną układu – wielotłokową, osiową firmy Bosch Rexroth A4VG 71 i elementy wykonawcze - hydrauliczne silniki gerotorowe firmy Sauer Danfoss TMTW 315. Zaproponowany układ napędowy zapewnia między innymi osiągnięcie prędkości 40km/h pojazdu na nawierzchni utwardzonej i skręt w miejscu z prędkością ok. 4 obr/min.

#### 4. WNIOSKI

Przedstawiona koncepcja hydrostatycznego układu napędowego trójosiowej platformy wysokiej mobilności o skręcie burtowym potwierdza zasadność takiego rozwiązania, szczególnie w przypadku robotów mobilnych. Układ tego typu z jednej strony zapewnia dużą manewrowość platformy (możliwość realizowania skrętu z zerowym promieniem, a więc wokół osi pionowej pojazdu), a jednocześnie czas jej pracy ograniczony jest jedynie objętością zbiorników paliwa. Stosunkowo wysoka sprawność elementów wykonawczych współczesnych, hydrostatycznych układów napędowych powoduje, że wyposażone w nie maszyny i pojazdy charakteryzuje wysoka mobilność w trudnych warunkach terenowych, a jednocześnie mogą one poruszać się ze znacznymi prędkościami, chociażby w przypadku konieczności podejścia do realizowanego zadania z dużej odległości, co powoduje znaczne skrócenie czasu jego realizacji. Rozwiązanie takie może znacząco wpłynąć na efektywność realizowanych zadań zarówno na współczesnym polu walki jak również w zadaniach pozamilitarnych związanych z narażeniem życia i zdrowia człowieka.

**5. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Bartnicki A., Sprawka P.: *Zastosowanie hydrostatycznych układów napędowych we współczesnych maszynach i pojazdach lądowych*, LOGITRANS, Szczyrk 2008.
- [2] Konopka S.: *Podstawy budowy i eksploatacji maszyn inżynieryjno-budowlanych*, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2002.
- [3] Kuczmarowski F., Typiak A.: *Lekki zdalnie sterowany pojazd – jako nośnik wyposażenia specjalistycznego i uzbrojenia. Polska wizja przyszłego pola walki*, OBRUM, Warszawa 2004.
- [4] Prochowski L.: *Teoria ruchu i dynamika pojazdów mechanicznych część II*, Wydawnictwo WAT, Warszawa 1997.
- [5] Przychodzień T.: *Maszyny fortyfikacyjno – drogowe część I*, Wydawnictwo WAT, Warszawa 1985.
- [6] Stryczek S.: *Napęd hydrostatyczny tom I*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2005.
- [7] Szydelski Z.: *Napęd i sterowanie hydrauliczne w pojazdach i samojezdnych maszynach roboczych*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1980.