

## ANALIZA UKŁADÓW NAPĘDOWYCH BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH W KIERUNKU ZIDENTYFIKOWANIA SPOSOBU PRZENIESIENIA NAPĘDU – CZĘŚĆ 2

Bartłomiej Jakus, Adam Olejnik

Akademia Marynarki Wojennej, Zakład Technologii Prac Podwodnych w Gdyni

### STRESZCZENIE

Jest to druga część materiału dotyczącego analizy układów napędowych zdalnie sterowanych bezzałogowych pojazdów głębinowych. W części pierwszej omówiono problematykę klasyfikacji bezzałogowych pojazdów głębinowych, głównie zdalnie sterowanych oraz kwestię stosowanego nazewnictwa w zakresie poszczególnych części składowych omawianych układów napędowych oraz pędnika pojazdu. Wskazano funkcję celu dla takiego układu napędowego, a także wady i zalety analizowanych rozwiązań konstrukcyjnych. W niniejszym materiale przedstawiono sposób przeprowadzenia analizy układów napędowych, jej metodykę oraz wyniki analizy.

**Słowa kluczowe:** inżynieria morską, pojazdy podwodne, technologia prac podwodnych.

---

### ARTICLE INFO

---

PolHypRes 2017 Vol. 60 Issue 3 pp. 17 – 26

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2017-00011

Strony: 10, rysunki: 2, tabele: 19

page **www of the periodical:** [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

**Typ artykułu:** oryginalny

**Termin nadesłania:** 13.08.2017r.

**Termin zatwierdzenia do druku:** 29.09.2017r.

### Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Projekt w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014-2020 BADANIA PRZEMYSŁOWE I PRACE ROZWOJOWE W KIERUNKU OPRACOWANIA I ZBUDOWANIA INNOWACYJNEGO HYPRYDOWEGO URZĄDZENIA ZANURZALNEGO POPRAWIAJĄCEGO BEZPIECZENSTWO I EFEKTYWNOŚĆ PRAC NURKOWYCH Projekt RPPM01.01.01-22-0055/16-00. Kryptonim "ŚWIETLIK" Beneficjent: PBP "Forkos" Sp. z o.o.



## WSTĘPNA ANALIZA UKŁADÓW NAPĘDOWYCH BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Do analizy wybrano 173 pojazdy typu ROV w różnych klasach na podstawie informacji zawartych w dostępnej literaturze wymienionej w pierwszej części niniejszej publikacji. Na potrzeby analizy wybrane pojazdy podzielono na następujące grupy:

- pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki elektryczne z bezpośrednim napędem śruby napędowej,
- pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki hydrauliczne z bezpośrednim napędem śruby napędowej,
- pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki elektryczne z magnetycznym przeniesieniem napędu lub posiadające silniki elektro – magnetyczne.

Podział ilościowy wybranych do analizy pojazdów wg. klasy (Norma NO-07-A118:2015) oraz przyjętego podziału na grupy przedstawiono w Tabeli 1.

Tab. 1

Liczebność analizowanych pojazdów typu ROV wg ich klasy i typu napędu zastosowanych w nich pędników.

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów [szt.]			Łącznie
	Typ napędu pędników			
	z silnikiem elektrycznym	z silnikiem hydraulicznym	z silnikiem elektrycznym i sprzęgłem magnetycznym	
Bardzo mały	5		5	10
Mały	16		13	29
Średni	15		14	29
Duży	27	63	15	105
Łącznie	63	63	47	173

## ANALIZA PORÓWNAWCZA PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW TECHNICZNYCH BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

W tabelach poniżej przedstawiono zestawienie danych odnoszących się do poszczególnych klas analizowanych pojazdów podwodnych pod kątem typu pędnika i sposobu przeniesienia napędu oraz takich podstawowych parametrów eksploatacyjnych jak: masa w powietrzu [kg], głębokość robocza [m], prędkość w poziomie (naprzód) [kn] oraz moc zainstalowana [kW]. Pojazdy z pędnikami wyposażonymi w silniki elektryczne z magnetycznym przeniesieniem napędu oznaczono w tabelach jako „mg”. Pozostałe pojazdy z pędnikami elektrycznymi lub hydraulicznymi z bezpośrednim przeniesieniem napędu oznaczono jako „inne”.

### POJAZDY KLASY „BARDZO MAŁY”

Masa w powietrzu [kg]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	3	2
max	5	6
średnia	4	4
mediana	4	4
min ÷ średnia	80%	60%
średnia ÷ max	20%	40%
ilość	5	5

Tab. 2

Głębokość [m]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	75	50
max	3000	152
średnia	690	101
mediana	150	76
min ÷ średnia	80%	60%
średnia ÷ max	20%	40%
ilość	5	5

Tab. 3

Prędkość w poziomie [kn]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	2	2
max	3	4
średnia	2	3
mediana	2	2
min ÷ średnia	40%	60%
średnia ÷ max	60%	20%
ilość	5	5

Tab. 4

Moc zainstalowana [kW]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	0.2	0.2
max	0.5	1.0
średnia	0.3	0.4
mediana	0.3	0.3
min ÷ średnia	40%	80%
średnia ÷ max	60%	20%
ilość	5	5

Tab. 5

**POJAZDY KLASY „MAŁY”**

Tab. 6

Masa w powietrzu [kg]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	12.00	11.00
max	47.00	42.00
średnia	26.46	28.56
mediana	20.00	28.00
min ÷ średnia	62%	50%
średnia ÷ max	38%	50%
ilość	13	16

Tab. 7

Głębokość [m]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	100	46
max	4000	6000
średnia	593	834
mediana	300	300
min ÷ średnia	85%	81%
średnia ÷ max	15%	19%
ilość	13	16

Tab. 8

Prędkość w poziomie [kn]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	3.00	2.00
max	4.20	10.00
średnia	3.41	3.36
mediana	3.00	3.00
min ÷ średnia	58%	36%
średnia ÷ max	42%	64%
ilość	12	14

Tab. 9

Moc zainstalowana [kW]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	0.20	0
max	3.60	5
średnia	1.73	2
mediana	1.50	1
min ÷ średnia	55%	73%
średnia ÷ max	45%	27%
ilość	11	15

**POJAZDY KLASY „ŚREDNI”**

Tab. 10

Masa w powietrzu [kg]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	50.00	50.00
max	140.00	132.00
średnia	84.71	79.56
mediana	75.00	82.00
min ÷ średnia	64%	47%
średnia ÷ max	36%	53%
ilość	14	15

Tab. 11

Głębokość [m]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	50.00	300.00
max	1500.00	6000.00
średnia	607.50	865.00
mediana	500.00	425.00
min ÷ średnia	64%	86%
średnia ÷ max	36%	14%
ilość	14	14

Tab. 12

Prędkość w poziomie [kn]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	2.00	1.50
max	4.50	3.50
średnia	3.13	2.72
mediana	3.00	3.00
min ÷ średnia	58%	36%
średnia ÷ max	42%	64%
ilość	12	14

Tab. 13

Moc zainstalowana [kW]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	2.50	2
max	10.00	15
średnia	4.78	6
mediana	3.00	5
min ÷ średnia	67%	54%
średnia ÷ max	33%	46%
ilość	12	13

**POJAZDY KLASY „DUŻY”**

Tab. 14

Masa w powietrzu [kg]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	150.00	165.00
max	2700.00	15000.00
średnia	606.33	2830.50
mediana	330.00	2540.00
min ÷ średnia	73%	54%
średnia ÷ max	27%	46%
ilość	15	89

Tab. 15

Głębokość [m]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	600.00	200.00
max	7000.00	11000.00
średnia	2350.00	2639.46
mediana	2000.00	2750.00
min ÷ średnia	73%	50%
średnia ÷ max	27%	50%
ilość	15	90

Tab. 16

Prędkość w poziomie [kn]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	1.50	1.6
max	3.50	5.0
średnia	2.93	3.03
mediana	3.00	3.0
min ÷ średnia	18%	50%
średnia ÷ max	82%	50%
ilość	11	90

Tab. 17

Moc zainstalowana [kW]		
Typ pędnika	mg	Inne
min	4.00	5
max	74.00	600
średnia	18.71	129
mediana	13.00	115
min ÷ średnia	71%	58%
średnia ÷ max	29%	42%
ilość	14	89

## ANALIZA PORÓWNAWCZA WYBRANYCH PARAMETRÓW NAPĘDÓW BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Analizę porównawczą wybranych parametrów napędów bezzałogowych pojazdów głębinowych wykonano w oparciu o dwa wskaźniki:

- $W_{Tj}$  – wskaźnik wykorzystania naporu jednostkowego pędnika w ruchu poziomym naprzód [ $m^2 \cdot kn/kg$ ],
- $W_N$  – wskaźnik przeniesienia napędu z silnika napędowego do śruby pędnika w ruchu poziomym naprzód [ $kg/kW$ ].

Wskaźnik wykorzystania naporu jednostkowego ( $W_{Tj}$ ) definiuje iloczyn powierzchni czołowej pojazdu i jego prędkości postępowej naprzód możliwej do uzyskania z 1 kg naporu zastosowanego pędnika, obliczany jest z następującej zależności:

$$W_{Tj} = \frac{B \cdot H \cdot v_H \cdot i_H}{T_H} \left[ \frac{m^2 \cdot kn}{kg} \right] \quad (1)$$

gdzie:

- B - szerokość gabarytowa pojazdu [m]
- H - wysokość gabarytowa pojazdu [m]
- $v_H$  - prędkość pojazdu w ruchu naprzód [kn]
- $i_H$  - ilość pędników wytwarzających napór w ruchu naprzód [szt]
- $T_H$  - sumaryczny napór pędników wytwarzany przez pędniki pojazdu [kg]

Wskaźnik ten zawiera cechy oporowe pojazdu, może być zatem wykorzystywany do określania prędkości jaką uzyska pojazd podobny o danej powierzchni czołowej przy zastosowaniu pędnika o znanym naporze.

Wskaźnik przeniesienia napędu ( $W_N$ ) definiuje iloraz naporu pędnika i mocy do niego dostarczanej, obliczany jest z zależności:

$$W_N = \frac{T_p}{N_p} \left[ \frac{kg}{kW} \right] \quad (2)$$

gdzie:

- TP - napór pędnika [kg]
- Np - moc dostarczana do pędnika [kW]

Za pomocą tego wskaźnika można dokonać porównania pędników z silnikami elektrycznymi posiadającymi bezpośrednie przeniesienie napędu do śruby napędowej z pędnikami posiadającymi magnetyczne przeniesienie napędu lub posiadające silniki elektro-magnetyczne.

W tabelach poniżej przedstawiono wyniki obliczeń poszczególnych wskaźników dla analizowanych klas pojazdów bezzałogowych. Typy napędu pędnika dla potrzeb niniejszej analizy oznaczono następująco:

- hydrauliczny – pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki hydrauliczne z bezpośrednim napędem śruby napędowej,
- elektryczny – pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki elektryczne z bezpośrednim napędem śruby napędowej,
- magnetyczny – pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki elektryczne z magnetycznym przeniesieniem napędu lub posiadające silniki elektro-magnetyczne.

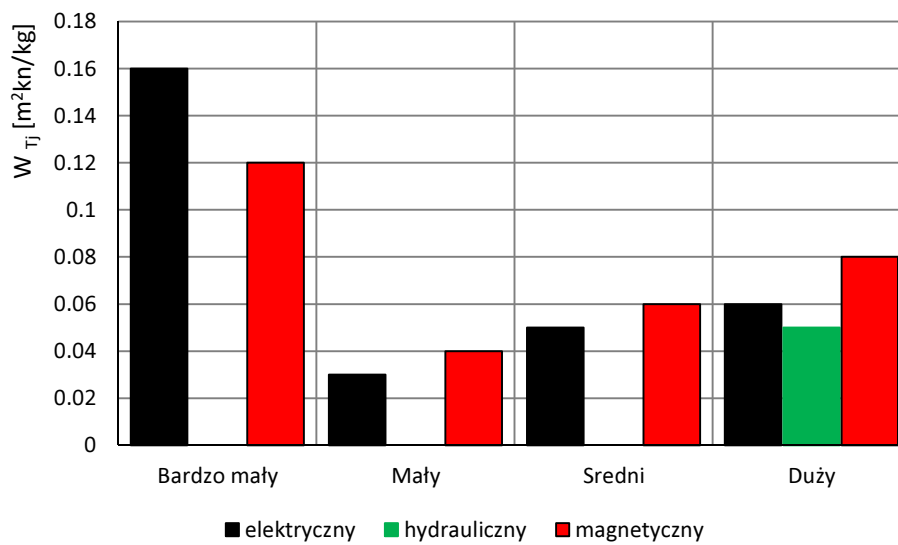
Tab. 18

Średni wskaźnik  $W_{Tj}$  według klasy pojazdu i typu napędu zastosowanych w nim pędników.

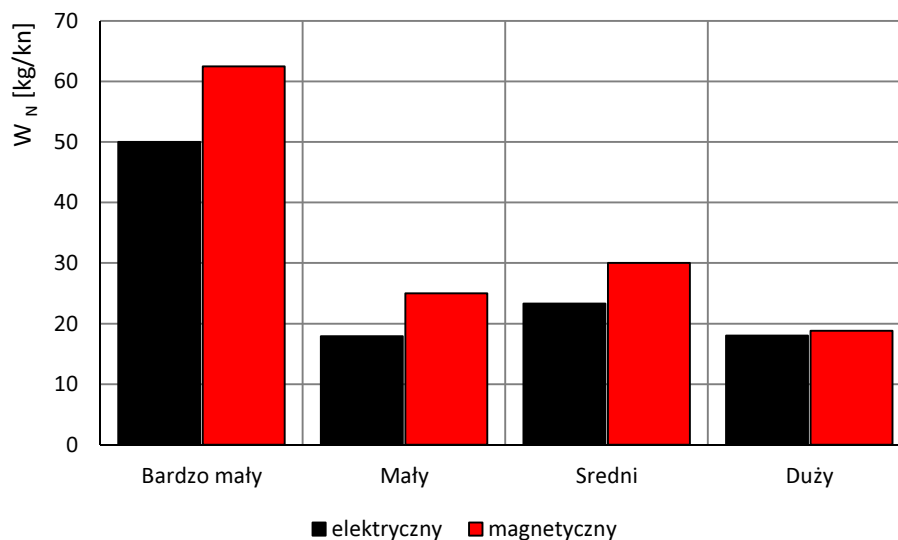
Klasa pojazdu	Typ pędnika			
	elektryczny	hydrauliczny	magnetyczny	wszystkich
BARDZO MAŁY	0,16		0,12	0,13
MAŁY	0,03		0,04	0,03
ŚREDNI	0,05		0,06	0,05
DUŻY	0,06	0,05	0,08	0,06
wszystkich	0,06	0,05	0,07	0,06

Średni wskaźnik  $W_N$  według klasy pojazdu i typu napędu zastosowanych w nim pędników.

Klasa pojazdu	Typ pędnika		
	elektryczny	magnetyczny	wszystkich
BARDZO MAŁY	50,0	62,5	58,3
MAŁY	17,9	25,0	21,5
ŚREDNI	23,3	30,0	27,8
DUŻY	18,0	18,8	18,5
wszystkich	25,4	34,1	30,8



Rys. 1 Średni wskaźnik wykorzystania napędu jednostkowego pędnika w ruchu poziomym naprzód ( $W_{Tj}$ ) według klasy i typu napędu zastosowanych w nim pędników.



Rys. 2 Średni wskaźnik przeniesienia napędu z elektrycznego silnika napędowego do śruby pędnika w ruchu poziomym naprzód ( $W_N$ ) według klasy i typu napędu zastosowanych w nim pędników.

## WNIOSKI

W dwóch częściach artykułu zatytułowanego „Analiza układów napędowych bezzałogowych pojazdów głębinowych w kierunku zidentyfikowania sposobu przeniesienia napędu” omówiono szereg zagadnień związanych z: problematyką klasyfikacji tego typu urządzeń, nazewnictwem w zakresie poszczególnych części analizowanych układów napędowych, wskazano też wady i zalety analizowanych rozwiązań.

Analizowano dwa obecnie najczęściej spotykane rozwiązania przeniesienia napędu z silnika elektrycznego do śruby napędowej: tradycyjny polegający na bezpośrednim osadzeniu śruby na wale silnika oraz magnetyczny za pomocą sprzęgła magnetycznego.

W drugiej części artykułu dokonano analizy porównawczej tych rozwiązań konstrukcyjnych. W analizie wykorzystano dane techniczne 173 konstrukcji pojazdów typu ROV, które podzielono na trzy grupy:

- grupa 1: pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki elektryczne z bezpośrednim napędem śruby napędowej,
- grupa 2: pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki hydrauliczne z bezpośrednim napędem śruby napędowej,
- grupa 3: pojazdy z pędnikami posiadającymi silniki elektryczne z magnetycznym przeniesieniem napędu lub silniki elektro-magnetyczne.

Jako uporządkowanie klasowe konstrukcji analizowanych pojazdów przyjęto klasyfikację wynikającą z postanowień normy NO-07-A118:2015. Liczbę pojazdów z rozbiciem na klasy i grupy analizowanych typów napędów przedstawiono w Tabeli 1. Zestawienie danych z podziałem na klasę pojazdu, typ napędu i podstawowe parametry eksploatacyjne takie jak: masa w powietrzu, głębokość, prędkość w poziomie oraz moc zainstalowaną przedstawiono w formie tabelarycznej w Tabelach od 2 do 17. Z danych tych wynika, że w przypadku pojazdów „Bardzo małych” daje się zauważyć największa różnica pomiędzy głębokością operacyjną analizowanych konstrukcji. W tym przypadku dla pojazdów z magnetycznym przeniesieniem napędu głębokość operacyjna jest niemal siedmiokrotnie większa niż dla pozostałych konstrukcji. W pozostałych klasach tendencje są odwrotne ale nie tak znaczące.

W przypadku prędkości pojazdów w poziomie, wartości tego parametru dla analizowanych konstrukcji są zbliżone. Aczkolwiek moc zainstalowana w pojazdach z bezpośrednim napędem jest większa niż w pojazdach wykorzystujących sprzęgła magnetyczne. Mogłoby to sugerować większą sprawność układu z magnetycznym przeniesieniem napędu, ale taki wniosek na obecnym etapie badań jest zbyt daleko idący i wymaga jeszcze eksperymentalnego potwierdzenia.

Dalszą analizę układów prowadzono z zastosowaniem wskaźnika wykorzystania naporu jednostkowego w ruchu poziomym naprzód ( $W_{Tj}$ ) oraz wskaźnika przeniesienia napędu ( $W_N$ ). Sposób określania poszczególnych wskaźników pokazano zależnościami matematycznymi (1) i (2). Analiza wskaźnika  $W_{Tj}$  ponownie może wskazywać na większą sprawność układu napędowego z magnetycznym przeniesieniem napędu. Wartości tego parametru dla tej grupy układów są większe niż dla pozostałych konstrukcji (Tabela 18). Podobnie w przypadku wskaźnika przeniesienia napędu  $W_N$  (Tabela 19). Tendencje odwrotne występują jedynie w klasie pojazdów „Bardzo małych”, co pokazano na Rys. 1.

Przeprowadzona analiza wskazuje wyraźne przesłanki do dalszej realizacji badań w kierunku porównania sprawności obydwu analizowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Kolejny etap badań musi jednak opierać się o doświadczenia laboratoryjne z wykorzystaniem obydwu konstrukcji układów napędowych.

Piśmiennictwo analogiczne do poprzedniego artykułu autorów

**mgr inż. Bartłomiej Jakus**  
Zakład Technologii Prac Podwodnych  
Akademia Marynarki Wojennej  
81-127 Gdynia, ul. Śmidowicza 69  
tel. 261 26 27 46; e-mail: b.jakus@amw.gdynia.pl