

Równania korelacyjne wydajności tarana wodnego

Correlation equations of performance of water ram

DARIUSZ GRYGO *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.131

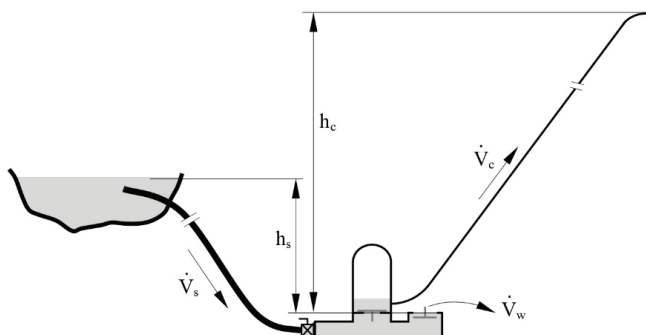
Głównym celem autora artykułu było opracowanie równań matematycznych zależności przepływu wody między strefą ciśnieniową a strefą roboczą w taranie wodnym. Badania przepływu wykonano na przykładowym taraniu wodnym własnej konstrukcji, zamontowanym na stanowisku badawczym specjalnie zaprojektowanym do tego celu. Artykuł zawiera równania matematyczne określające zależności przepływów między odpowiednimi strefami. W podsumowaniu dokonano interpretacji wyznaczonych równań.

SŁOWA KLUCZOWE: taran wodny, wydajność, równania matematyczne

The main aim of this article was develop mathematical equations depending on a water flow between pressure zone and work zone in water ram. The study was performed on the simple water ram of own design mounted on the test stand specially designed for this purpose. The article includes mathematical equations depending the dependence water flow rate between respective zones. In conclusion of this article were interpreted the obtained results.

KEYWORDS: water ram, performance, mathematical equations

Taran wodny to rodzaj pompy wodnej służącej do podnoszenia wody na większe wysokości (h_c) niż poziom wody zasilającej (h_s) (rys. 1).



Rys. 1. Schemat tarana wodnego

Taran wodny swoje działanie opiera na wykorzystaniu energii kinetycznej przepływającego strumienia przez strefę roboczą tego urządzenia. Źródłem zasilania taranów wodnych może być dowolny ciek lub zbiornik wodny, np.: rzeka, strumień, jezioro, staw – ważne jest jedynie, aby taki zbiornik lub ciek zapewnił przepływ strumienia wodnego o właściwym jego natężeniu (\dot{V}_s), pozwalającym na utworzenie odpowiedniego uderzenia hydraulicznego w taraniu wodnym, koniecznego do dalszej prawidłowej jego pracy (Mohammed, 2007; Furze, 2012; Watt, 1975).

Analizując historię tarana, można znaleźć informacje dotyczące jego wydajności (Furze, 2012; Welch, 1991; Mohammed, 2007). Równania, które wykorzystano do wyznaczania wydajności tarana wodnego, można uogólnić do postaci:

$$Q \cdot H \cdot \mu = q \cdot h \quad (1)$$

lub

$$q = \frac{Q \cdot H \cdot \mu}{h} \quad (2)$$

w odniesieniu do rys. 1

$$\dot{V}_c = \frac{\dot{V}_s \cdot h_s \cdot \mu}{h_c} \quad (3)$$

gdzie: \dot{V}_s – natężenie przepływu rurą zasilającą [dm^3/s], h_s – wysokość źródła wody [m], μ – współczynnik proporcjonalności $0,8 \div 0,2$, \dot{V}_c – natężenie przepływu wody podnoszonej [dm^3/s], h_c – wysokość podnoszenia wody [m], \dot{V}_w – strumień przepływu zaworem impulsowym.

Celem podjętej pracy jest wyznaczenie zależności matematycznej, pozwalającej na określenie natężenia przepływu wody w strefie ciśnieniowej (\dot{V}_c), zależnego od natężenia przepływu w strefie roboczej (\dot{V}_w). Dodatkowo podjęto próbę oszacowania wpływu trzech składników: wysokości pompowania wody (h_c), wysokości źródła wody (h_s) oraz natężenia przepływu w strefie roboczej (\dot{V}_w) na wydajność (\dot{V}_c) tarana wodnego.

Równania

Wyniki badań poddano opracowaniu statystycznemu, stosując analizę regresji w celu określenia charakteru związku między zmienną zależną (\dot{V}_c) a zmiennymi niezależnymi (h_s , h_c , \dot{V}_w) dla modeli stochastycznych:

$$\hat{\dot{V}}_c = f(h_s, h_c, \dot{V}_w) \quad (4)$$

Kierując się zasadą, że zależności fizyczne często występują w prostych postaciach matematycznych, oraz że rzeczywistość może być z powodzeniem opisywana przez kilka modeli, testowano następującą funkcję:

$$Y = \zeta_0 + \zeta_1 X_1 + \zeta_2 X_2 + \zeta_3 X_3 \quad (5)$$

Weryfikowano hipotezę H_0 , że parametry strukturalne równania nieistotnie różnią się od zera ($\alpha_i = 0$). W przypadku, gdy $p(F) \geq \alpha$, nie było podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , natomiast gdy $p(F) < \alpha$, hipotezę H_0 odrzucano na korzyść hipotezy alternatywnej H_1 ($\alpha_i \neq 0$). Zestawione wyniki obliczeń statystycznych oraz równanie regresji podano w tablicach (Stanisz, 2007; Polański i Pietraszek, 2012).

Równanie wydajności ($h_s = 5 \text{ m}$)

Dane ogólne: liczba obserwacji = 4, przyjęty poziom istotności = 0,05.

TABLICA I. Zestawione wyniki analizy statystycznej

Zmienna	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
h_c	11,5	1,118034	9,72
\dot{V}_w	7,77	0,724889	9,23
\dot{V}_c	1,81	0,817115	45,07

* Mgr Dariusz Grygo (dariusz.grygo@gmail.com) – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

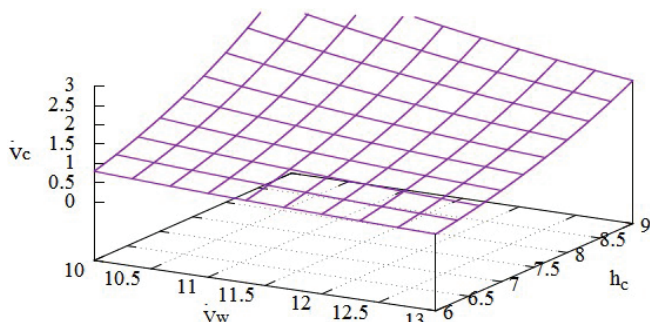
Weryfikacja hipotezy o istotności współczynników równania regresji:

- H_0 : Współczynniki regresji są równe zero
- H_1 : Nie wszystkie współczynniki regresji są równe zero
- Procent wyjaśnionej zmienności – 100,00
- Współczynnik korelacji wielokrotnej – 1,000
- Odchylenie standardowe reszt – 0,001679
- Obliczona wartość statystyki $F_{(2;1)} = 211749,6349$
- Poziom prawdopodobieństwa testu $p = 0,0015$.

H_0 należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej H_1 .

Równanie regresji:

$$\dot{V}_c = 0,0876 \cdot h_c^{-1,9647} \cdot \dot{V}_w^{3,7592} \quad (6)$$



Rys. 2. Wykres równania (6)

Równanie wydajności ($h_s = 3$ m)

Dane ogólne: liczba obserwacji = 7, przyjęty poziom istotności = 0,05.

TABLICA II. Zestawione wyniki analizy statystycznej

Zmienna	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
h_c	9,00	2,000000	22,22
\dot{V}_w	8,30	1,001285	12,07
\dot{V}_c	2,15	1,082568	50,28

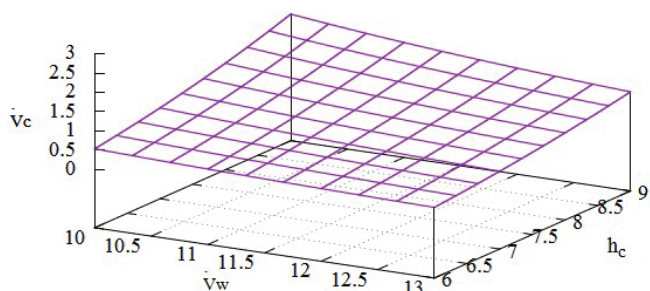
Weryfikacja hipotezy o istotności współczynników równania regresji:

- H_0 : Współczynniki regresji są równe zero
- H_1 : Nie wszystkie współczynniki regresji są równe zero
- Procent wyjaśnionej zmienności – 97,46
- Współczynnik korelacji wielokrotnej – 0,987
- Odchylenie standardowe reszt – 0,154176
- Obliczona wartość statystyki $F_{(2;4)} = 76,7335$
- Poziom prawdopodobieństwa testu $p = 0,0006$.

H_0 należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej H_1 .

Równanie regresji:

$$\dot{V}_c = 0,2530 \cdot h_c^{-1,9496} \cdot \dot{V}_w^{2,9291} \quad (7)$$



Rys. 3. Wykres równania (7)

Równanie wydajności ($h_s = 3; 4; 5$ m)

Dane ogólne: liczba obserwacji = 16, przyjęty poziom istotności = 0,05.

TABLICA III. Zestawione wyniki analizy statystycznej

Zmienna	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
h_s	3,81	0,807678	21,18
h_c	10,56	2,149673	20,35
\dot{V}_w	8,01	0,864167	10,79
\dot{V}_c	1,95	0,931188	47,81

Weryfikacja hipotezy o istotności współczynników równania regresji:

- H_0 : Współczynniki regresji są równe zero
- H_1 : Nie wszystkie współczynniki regresji są równe zero
- Procent wyjaśnionej zmienności – 99,22
- Współczynnik korelacji wielokrotnej – 0,996
- Odchylenie standardowe reszt – 0,134151
- Obliczona wartość statystyki $F_{(9;6)} = 84,9903$
- Poziom prawdopodobieństwa testu $p = 0,0000$.

H_0 należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej H_1 .

Równanie regresji wielomianowej wielu zmiennych:

$$\begin{aligned} \dot{V}_c = & -32,4948 + 5,1564 \cdot h_s + 0,9227 \cdot h_c + 5,205 \cdot \dot{V}_w \\ & - 0,5028 \cdot h_s^2 + 0,0139 \cdot h_c^2 - 0,2325 \cdot \dot{V}_w^2 - 0,1223 \\ & \cdot h_s \cdot h_c + 0,083 \cdot h_s \cdot \dot{V}_w - 0,1564 \cdot h_c \cdot \dot{V}_w \end{aligned} \quad (8)$$

Podsumowanie

Jak wskazują wyniki, natężenie przepływu w strefie ciśnieniowej jest ściśle skorelowane z pozostałymi parametrami (z wysokością podnoszenia wody h_c , wysokością źródła wody h_s , natężeniem przepływu w strefie roboczej \dot{V}_w).

Podając analizie wyniki uzyskane podczas testu, udało się wyznaczyć równania zmienności funkcji dla trzech wysokości źródła wody. Pierwszy model okazał się najbardziej dopasowany (100% wyjaśnionej zmienności), przy czym kolejny okazały się również doskonale dopasowane (korelacja prawie pełna – 97,46% wyjaśnionej zmienności). Stwierdzono zależność, iż natężenie przepływu w strefie roboczej (\dot{V}_w) ma wpływ na natężenie przepływu w strefie ciśnieniowej (\dot{V}_c). Z otrzymanej zależności matematycznej wynika, iż przy stałej wysokości podnoszenia wody ($h_c = \text{constant}$) zwiększenie przepływu o 1 [dm³/180 s] w strefie roboczej spowoduje zwiększenie przepływu o 0,925785 [dm³/180 s] w strefie ciśnieniowej dla modelu pierwszego. Analogicznie dla modelu drugiego będzie to 0,679022 [dm³/180 s] (180 s – czas przyjętego pomiaru).

LITERATURA

1. Furze J. (2012). Compendium in hydraulic ram. University of Aarhus. Faculty of Political Science. www.slideshare.net/Fatin62c/compendium-in-hydraulic-rampumps, August 2014.
2. Mohammed S.N. (2007). „Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump”. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. Vol. 11 (2007), pp. 59÷70.
3. Polański Z., Pietraszek J. (2012). „Komputerowe wspomaganie planowania i analizy badań innowacyjnych” – materiały kursowe. StatSoft Polska Sp. z o. o. Kraków.
4. Stanisław A. (2007). „Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica PL” (t. I, II, III). Kraków: StatSoft Polska, Sp. z o. o.
5. Watt S.B. (1975). A manual on the hydraulic ram for pumping water. Retrieved from [http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH_KEY_REFERENCES/WATER/Water%20Pumping/Ram%20Pumps/Hydraulic%20Ram%20Pump%20Manual%20\(ITDG\).pdf](http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH_KEY_REFERENCES/WATER/Water%20Pumping/Ram%20Pumps/Hydraulic%20Ram%20Pump%20Manual%20(ITDG).pdf).
6. Welch M. (1991). Alternative Energy Engineering's High Lifter Pump. (Vol. 23). Home Power. Pobrano July 2014. ■