



## PROJEKT STANOWISKA DYDAKTYCZNEGO DO WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYK POMP WIROWYCH

**Norbert Ochal**

Politechnika Gdańska,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,  
Instytut Oceanotechniki i Okrętownictwa,  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel.: +48 58 3471023  
e-mail: norochal@pg.edu.pl

### Abstrakt

*W artykule przedstawiono projekt oraz gotowe stanowisko do wyznaczenia charakterystyk przepływowych pomp wirowych w pracy indywidualnej oraz w wybranych wariantach współpracy szeregowej jak i równoległej. Obserwację parametrów kontrolnych pomp wirowych w różnych stanach pracy: dławienie przepływu, zmiana prędkości obrotowej. Dużą zaletą stanowiska jest wymuszanie obserwację zjawiska kawitacji.*

**Słowa kluczowe:** pompa, kawitacja, charakterystyki eksploatacyjne pomp

### Wstęp

Podstawowym elementem instalacji ciśnieniowej jest system pomp, wśród których wyróżniamy pompy wirowe. Pompy te z założenia nadają się przede wszystkim do transportu cieczy czystych, jak i z zawiesinami, a także lepkich i z zawartością gazu. Dzięki swojej ogromnej wszechstronności i naprawdę szerokiemu zastosowaniu.

Stanowisko przeznaczone jest do wyznaczenia charakterystyk przepływowych pomp wirowych w pracy pojedynczej pompy oraz w wybranych wariantach współpracy (szeregowej i równoległej). Zastosowano również przezroczyste elementy rurociągu umożliwiające wywołanie i obserwację zjawiska kawitacji.

### 1. Założenia projektowe stanowiska

Zaprojektowanie i wykonanie stanowiska do wyznaczenia charakterystyk pomp wirowych oparte zostało pompy typu SKB. Są to pompy samozasysające wirowe, krążeniowe, z bocznym kanałem pierścieniowym, z wirnikiem otwartym. Największą zaletą pomp SKB przedstawionej na rysunku 1, jest zdolność samoczynnego samozasysania cieczy, bez potrzeby zalewania przewodu ssącego. Zdolność samozasysania pompa uzyskuje się po

wcześniejszym zalaniu jej cieczą. Może ona również pracować w urządzeniach przenośnych. Dozwolone jest pompowanie cieczy o gęstości do  $1300 \text{ kg/m}^3$  i lepkości do  $150 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

Projekt modelu 3D stanowiska przedstawiono na rysunku 2. Roboczą wersję stanowiska przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 1. Widok ogólny pompy krężeniowej typu SKB

Woda, jako czynnik roboczy przechowywana jest w zbiorniku o pojemności  $V = 250 \text{ dm}^3$ . Podczas pracy pomp jest ona przetłaczana w obiegu zamkniętym, od zbiornika obiegowego przez rurociągi ssawne do pompy i dalej przez rurociągi tłoczne do zbiornika obiegowego.



Rys.2. Widok ogólny projektu stanowiska do wyznaczania charakterystyk pomp wirowych



Rys. 3. Widok ogólny stanowiska laboratoryjnego do badania pomp wirowych

Przewidziano możliwość stosowania również chłodzenia za pomocą płytowego wymiennika ciepła. Pompa obiegowa OPTIECO 25-40/180 FERRO umieszczona pod zbiornikiem wody stanowiska, przedstawiona na rysunku 4, umożliwi rozszerzenie wariantu pracy układu pompowego o zagadnienia związane z wymianą ciepła.



Rys. 4. Widok pompy obiegowej

W skład stanowiska do badania pomp wirowych wchodzi:

- Pompa krążeniowa typu SKB.2.01, o wydajności  $Q = 1,80 \text{ m}^3/\text{h}$  i wysokości podnoszenia  $H_z = 6 \text{ m}$ . Pompa jest bezpośrednio połączona z silnikiem napędowym o mocy  $0,37 \text{ kW}$ , przy napięciu zasilającym  $3 \times 400 \text{ V}$ .
- Pompa krążeniowa SKB.2.02 o wydajności  $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$  i wysokości podnoszenia  $H_z = 12 \text{ m}$ . Pompa ta jest bezpośrednio połączona z silnikiem napędowym o mocy  $0,55 \text{ kW}$  i napięciu zasilającym  $3 \times 400 \text{ V}$ .
- Zbiornik obiegowy wody o pojemności  $V = 250 \text{ dm}^3$

- Pulpit sterowniczy stanowiska umożliwiający płynną regulację prędkości obrotowych obu silników napędowych oraz odczyt napięcia i natężenia prądów zasilających.

W celu dobrania odpowiednich pom oraz poszczególnych elementów składowych stanowiska wyznaczono podstawowe parametry i wielkości charakteryzujące układy pompowe stanowiska [1,2]:

- Geometryczną wysokość podnoszenia pompy,

$$p_d = p_g \rightarrow H_{st} = H_z = 1,65 [m] \quad (1)$$

- Prędkość przepływu oraz średnicy rurociągu dla katalogowej wydajności pompy [14]

$$Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0005 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\rho}} = 0,02067 [m] = 20,67 [mm] \quad (2)$$

Z katalogu dobrano rurę stalową czarną  $\frac{3}{4}$  o średnicy zewnętrznej 26,9 mm i grubości ścianki 2,6 mm [15]. średnicy. Dla dobranej średnicy wewnętrznej rurociągu 21,7 mm,

- rzeczywista prędkość przepływu:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = 1,353 \left[\frac{m}{s}\right] \quad (3)$$

Wyznaczenie oporów przepływu rurociągu w poszczególnych odcinkach, w których występują straty przepływu [8]:

- Obliczenie całkowitego oporu instalacji:

$$\sum_{i=1}^n \Delta H_t = \frac{1}{\rho g} (\Delta p_{1t} + 3\Delta p_2 + \Delta p_4 + \Delta p_5 + 2\Delta p_6 + \Delta p_7 + \Delta p_{85}) = 0,3683 [m] \quad (4)$$

- Obliczenie całkowitej wysokości podnoszenia

$$H_u = H_{st} + H_{dyn} = 2,416 [m] \quad (5)$$

- Parametry dobranej pompy:

$$H_{pump} = 6 [m]$$

$$Q_{pump} = 1,8 [\text{m}^3/\text{h}]$$

- Zjawisko wystąpienia kawitacji [3]

$$H_s = \frac{p_b}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \sum \Delta H_s - NPSH_r - H_{sf} + \frac{v^2}{2g} = 4,24 [m] \quad (6)$$

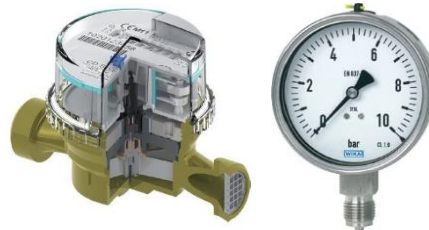
$$NPSH_{kr} = \frac{p_s}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} = 1,8 [m] \quad (7)$$

## 2. Charakterystyki przepływowe pompy i punkt pracy pompy

Współpraca pompy z instalacją określona jest przez punkt pracy pompy. Punkt pracy P jest miejscem przecięcia krzywej podnoszenia pompy oraz charakterystyki rurociągu. Charakterystyką rurociągu nazywa się zależności między wysokością strat hydraulicznych w instalacji pompowej, a strumieniem objętości przepływającej cieczy. Wysokość strat hydraulicznych może być pomniejszona, bądź powiększona o stałą wartość  $H_{st}$  wynikającą z sumy różnicy ciśnień i różnicy wysokości zwierciadeł cieczy w zbiornikach pomiędzy którymi przetłaczana jest ciecz [9].

Wyznaczanie charakterystyk pomp wirowych polega na pomiarze ciśnienia w rurociągu ssawnym oraz tłocznym oraz przepływu wody. Pomiar odczytywany jest przy pomocy manometrów z rurką Bourdona oraz wodomierzy jednostrumieniowych. Na rysunku 5 przedstawiono widok ogólny manometru z rurką Bourdona oraz wodomierza jednostrumieniowego. Pomiaru służące do sporządzania charakterystyk poprzedzone są okresem wstępnym, przeznaczonym na ustalenie się warunków pracy pompy i przepływu cieczy. Badanie pomp przeprowadza się dla różnych położeń

zaworu na tłoczeniu pompy. Badanie przeprowadza się dla dwóch prędkości obrotowych silnika napędowego (wirnika pompy), gdy zawór tłoczny jest całkowicie otwarty oraz dla czterech innych jego położzeń, aż do całkowitego zamknięcia. Prędkość ustalona została za pomocą przemiennika częstotliwości znajdującego się w głównej rozdzielni zasilająco sterującej stanowiska przedstawionej na rysunku 6.



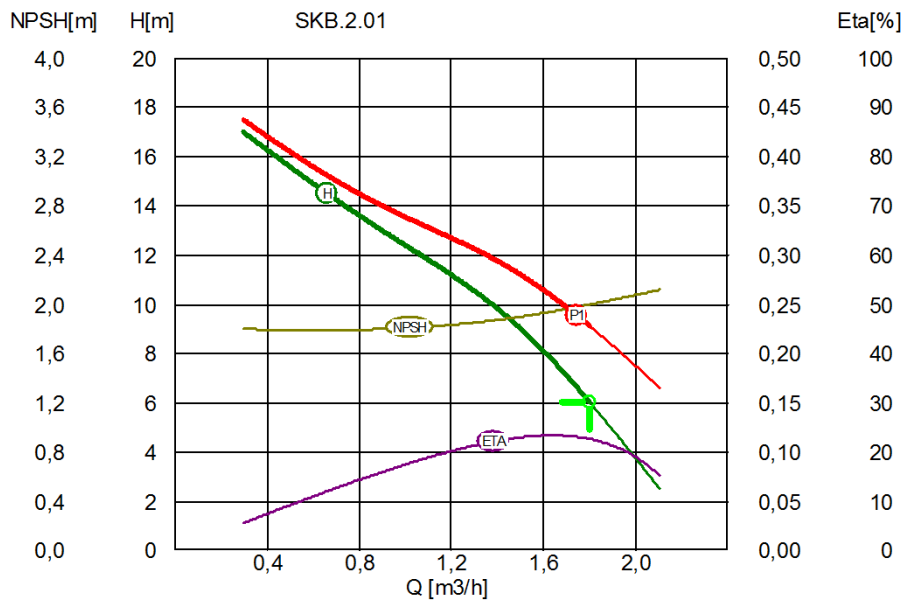
Rys. 5. Widok ogólny manometru z rurką Bourdona oraz wodomierza [12,13]



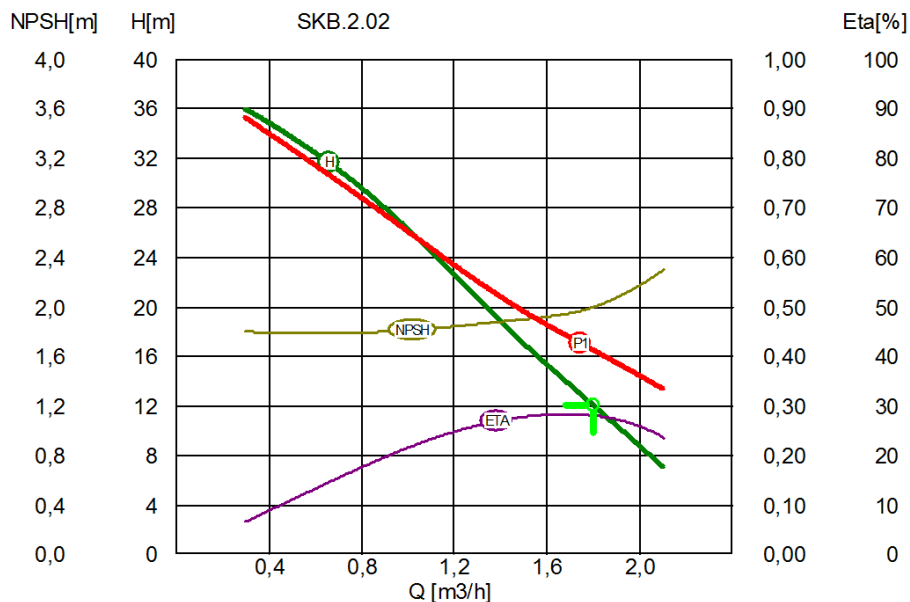
Rys. 6. Widok ogólny rozdzielni zasilająco-sterującej stanowiska laboratoryjnego do badania pomp wirowych

Na podstawie pomiarów stanowiskowych tworzy się charakterystyki przepływowe. Komplet charakterystyk przepływowych przedstawiono na rysunkach 7 oraz 8, przedstawiające następujące zależności:

- Krzywą podnoszenia  $H=f(Q)$
- Charakterystyka poboru mocy pompy  $P_w=f(Q)$
- Charakterystyka sprawności pompy  $\eta=f(Q)$
- Krzywą nadatku  $NPSH_r=f(Q)$

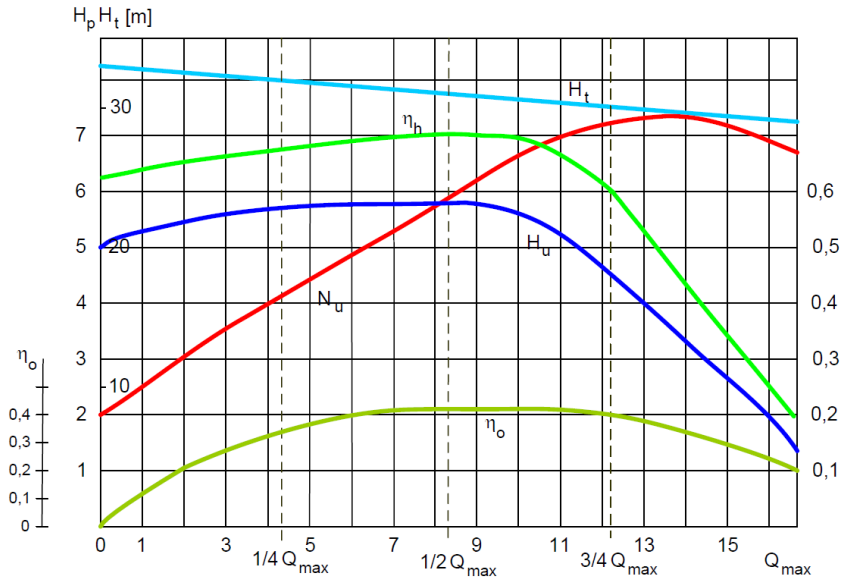


Rys. 7. Charakterystyki przepływowe wirowej pompy krążeniowej SKB 2.01 [11]



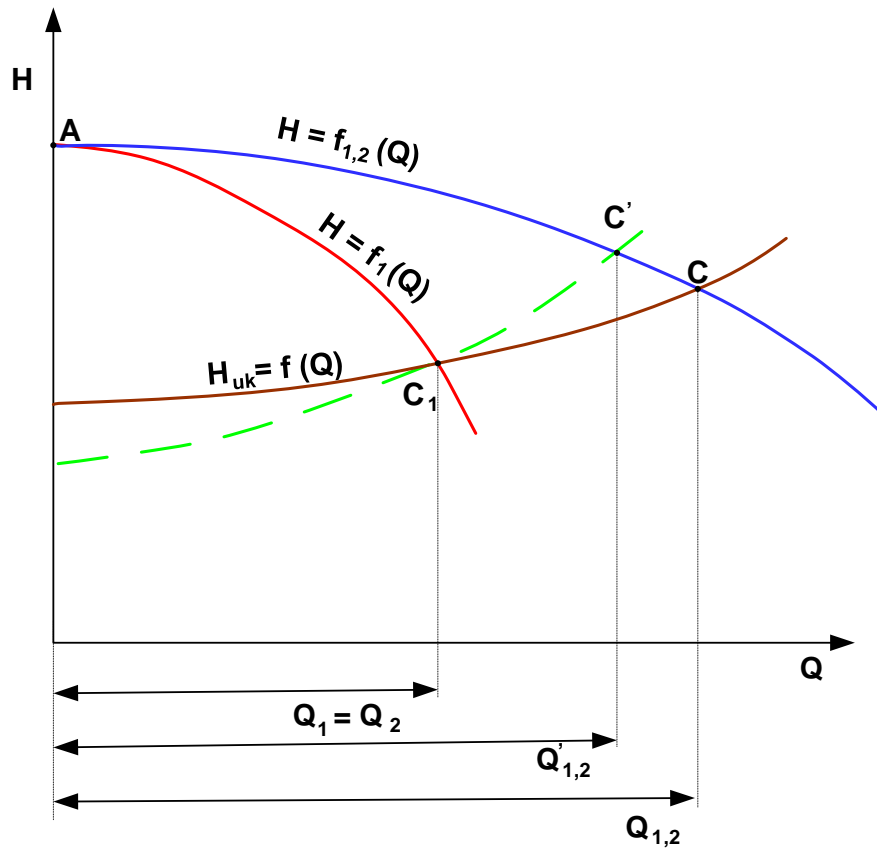
Rys. 8. Charakterystyki przepływowe wirowej pompy krążeniowej SKB 2.02 [11]

Dla każdego położenia zaworu dokonuje się pomiarów po przynajmniej kilkuminutowym okresie stabilizacji pracy pompy, a następnie odczytuje się wartości pomiarowe następujących wielkości fizycznych, które są stabilizowane. Obliczenia przeprowadza się przy założeniu stałej prędkości obrotowej wirnika pompy  $n = const$ , oraz przy różnych położeniach zaworu tłocznego. Następnie przeprowadza się analogiczne obliczenia dla innej prędkości obrotowej wirnika pompy. W oparciu o stabilizowane wyniki obliczeń sporządza się charakterystyki przepływu pompy dla dwóch różnych prędkości obrotowych jej wirnika:  $H_p=f(Q)$ ,  $H_t=f(Q)$ ,  $N_e=f(Q)$ ,  $N_u=f(Q)$ ,  $\eta_h=f(Q)$ ,  $\eta_o=f(Q)$ . Przykładowe charakterystyki przedstawiono na rysunku 9.

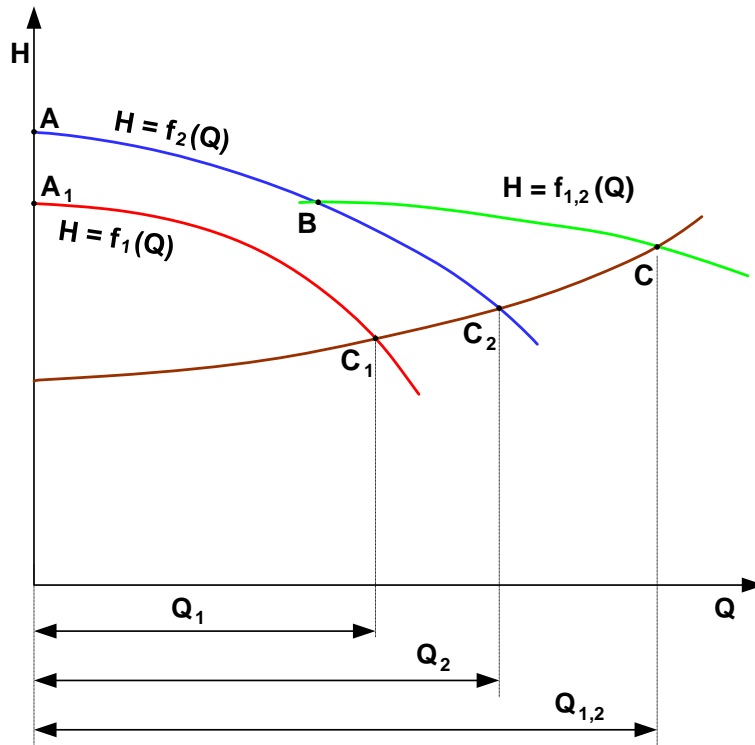


Rys. 9. Przykładowe charakterystyki przepływu pomp wirowych [3]

Na podstawie badań pomp 1 i 2 w pracy autonomicznej wykonuje się na jednym wspólnym wykresie charakterystyki przepływu tych pomp  $H=f_1(Q)$  oraz  $H=f_2(Q)$ , a następnie wykreśla się charakterystykę zastępczą  $H=f(Q_{1,2})$ . Przykład: dwie pompy wirowe o identycznej charakterystyce reprezentowanej na rysunku 6 przez krzywą  $H=f_1(Q)$  połączone są równolegle i tłoczą ciecź do wspólnego rurociągu o charakterystyce  $H_{uk}=f(Q)$ .

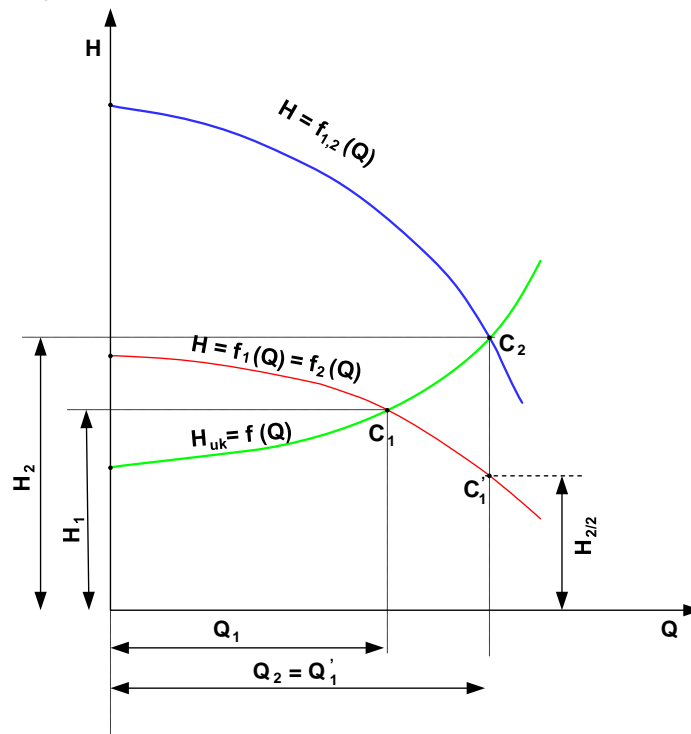


Rys. 10. Współpraca równoległa dwóch pomp wirowych o takiej samej charakterystyce przepływu



Rys. 11. Współpraca równoległa dwóch pomp wirowych o różnych charakterystykach przepływu

Wyznaczenie charakterystyki przepływu dwóch pomp współpracujących szeregowo i porównaniu jej z charakterystyką zastępczą uzyskana na podstawie badań pomp pracujących autonomicznie. Współpraca szeregowo obu pomp możliwa jest jedynie w przypadku, gdy pompa 1 pracuje na ssanie pompy 2. Wówczas pompa 1 zasysa wodę ze zbiornika wody i tłoczy ją do króćca ssawnego pompy 2. Przykładową charakterystykę przepływu dla współpracy szeregowej dwóch pomp wirowych przedstawia rysunek 12.



Rys. 12. Współpraca dwóch pomp połączonych szeregowo



W układzie szeregowym dwóch pomp wirowych charakterystykę przepływu wyznacza się dodając do siebie rzędne wysokości podnoszenia przy stałych wydajnościach. Analizując powyższy rysunek widać, że w przypadku szeregowego połączenia pomp wydajności  $Q_1=Q_2$ , a jednocześnie wysokość podnoszenia wzrośnie od wartości  $H_1$  do wartości  $H_2$  przy czym  $H_2 < 2H_1$ .

### 3. PODUMOWANIE

Budowa stanowiska stanowi element rozbudowywanej bazy laboratoryjnej laboratorium. Stanowisko laboratoryjne umożliwia bezpośrednie wykonywanie przez ćwiczących czynności praktycznych. Istnieje możliwość dalszej modernizacji stanowiska do badania szeroko rozumianych charakterystyk oraz regulacją układów pompowych w eksploatacji.

#### Literatura

1. PEREPECZKO, A. Okrętowe pompy, sprężarki i wentylatory. Wydawnictwo Morskie Gdańsk 1976.
2. SPEPNIIEWSKI, M. Pompy. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1985
3. JEDRAL, W. Pompy wirowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2001
4. STANKIEWICZ, M. Okrętowe maszyny i urządzenia pomocnicze. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1985
5. KSIAŻYŃSKI, W. Hydraulika. Politechnika Krakowska Kraków 2008
6. PRACA ZBIOROWA Poradnik mechanika. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1996
7. STARZYŃSKA W. Statystyka praktyczna. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2007
8. Polska Norma PN-76M/34034 Zasady obliczeń strat ciśnienia
9. BASIŃSKI B. Opracowanie Parametry pracy pomp i zjawisko kawitacji. <http://home.agh.edu.pl/> (dostęp 10.04.2021)
10. <https://akwa.pl/wodomierz-itron-flodis> (dostęp 25.04.2021)
11. <http://www.hydro-vacuum.com.pl> (dostęp 25.04.2021)
12. <https://onninen.pl/artykul/manometry-z-rurka-bourdona-produkcji-wika>. (dostęp 20.04.2021)
13. <https://onninen.pl/artykul/manometry-z-rurka-bourdona-produkcji-wika>. (dostęp 18.04.2021)
14. <https://onninen.pl/produkt/HUTA-STALI-Rura-stalowa-3-4-bez-szwu-czarna-26-9X2-6-164480>. (dostęp 24.04.2021)
15. <https://hydmar.com.pl/3411-wodomierz-dn-20-q3-40m3-h-antymagnetyczny-1-.html>. (dostęp 21.04.2021)