

# ENERGOCHŁONNOŚĆ W UKŁADZIE POMPOWYM POMPY GŁĘBINOWEJ

dr Marian Strączyński  
niezależny ekspert

Zastosowanie metody dokładnej diagnostyki parametrycznej pracy głębinowego agregatu pompowego w układzie pompowym studni, a więc pomiaru ciśnień wewnątrz i na zewnątrz rurociągu tłoczego specjalną sondą umieszczoną za króćcem tłocznym pompy pod wodą – rys.1 [1], otworzyło zupełnie nowe możliwości w bilansie mocy podczas eksploatacji ujęcia studziennego.

**D**okładna znajomość rozdziału mocy pobranej w zasilaniu silnika głębinowego z wyczeniem strat w układzie pompowym oraz wyznaczeniem wartości mocy przeznaczonej na „wtłoczenie się” do odpływu i na podnoszenia stałe wraz z uruchomieniem działania geohydrauliki studziennej umożliwiają precyzyjną ocenę sprawności energetycznej układu pompowego.

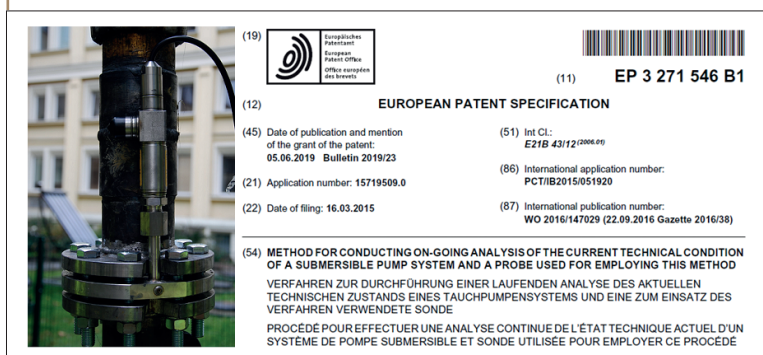
## Bilans mocy

Na rys. 2 pokazano 6 podstawowych obszarów – miejsc, w których rozpraszana jest moc pracującego układu pompowego pompy głębinowej w studni ujęcia głębinowego. Zgodnie z patentem

EP3271546\_B1 [1] dolna sonda pomiarów ciśnień umożliwia wykonanie dokładnego rozliczenia mocy w układzie pompowym. Posiadając komplet 4 ciśnień z układu [2,3]:  $p_p$  – ciśnienie w za króćcem tłocznym pompy (pod wodą),  $H_H$  – ciśnienie hydrostatyczne wynikające położenia zwierciadła wody nad sondą,  $p_1$  – ciśnienie przed zasuwą dławiącą,  $p_2$  – ciśnienie na odpływie z układu i wydajność pompy  $Q$  oraz znając aktualny pobór mocy czynnej  $P_e$  wraz z danymi instalacyjnymi jego budowy  $L_p$  – głębokość zabudowy pompy i sondy,  $D_r$  – średnica rurociągu tłoczego pompy, możemy wyznaczyć dokładną wartość mocy w 6 charakterystycznych obszarach układu. Obszary te dla wody o temperaturze ca 18°C,  $\gamma_e = 1000 \text{ kg/m}^3$ , gdy zachowamy jednostki:  $D_r$  [m],  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],  $P_{OD}$  [kW],  $P_e$  [kW],  $P_{GH}$  [kW],  $p_p$ ,  $H_H$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $H_{ST}$ ,  $L_p$  [m], umożliwią nam dokładne rozliczenie mocy pobranej w zasilaniu silnika głębinowego. Na rys. 2 pokazano i ponumerowano te miejsca – obszary.

Tak więc [5] dla numeru 1 – przypada strata mocy w agregacie pompowy (silnik + pompa) oraz w zasilaniu (kabel + np. falownik):  $P_{AZ}$ . Ta strata mocy zależy od „punktu pracy” pompy na jej charakterystyce  $H=f(Q)$ , przekroju i długości kabla zasilającego, typu silnika (asynchroniczny – synchroniczny). Użytkownik może wartość traconej mocy  $P_{AZ}$  optymalizować zarówno po stronie parametrów pompy (właściwy dobór i regu-

RYS. 1  
Specjalna sonda umieszczona za króćcem tłocznym pompy pod wodą



lacja), jak i stosując właściwy przekrój kabla lub też np. silniki synchroniczne.

Numer 2 – dotyczy wielkości strat liniowych w rurociągu tłocznym pompy:  $P_{SL}$ . Straty te zależą od średnicy i długości rurociągu oraz od jakości wody (tlenki żelaza, mangan, itp.). Użytkownik może zmniejszyć wartość tych strat –  $P_{SL}$  gdy przestrzeżga ograniczenia prędkości przepływu w rurociągu – maks. 2,5 m/s, stosuje przewody „elastyczne” [2] dla wód np. z tlenkami żelaza, podczas wymiany pompy czyści rury tłoczne.

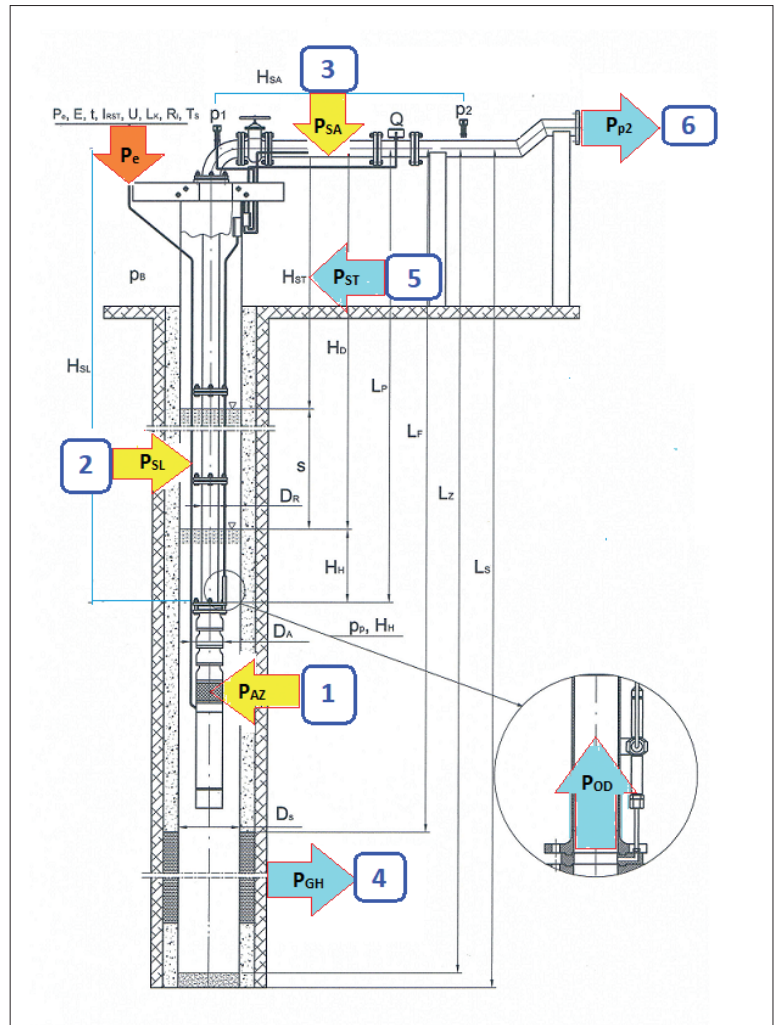
Numer 3 – ograniczenie strat armatury –  $P_{SA}$ . Podstawowa zasada – nigdy nie dławić wydajności pompy zasuwą. Kiedy jest taka konieczność, regulować wydajność pompy przy pomocy falownika, a więc zmieniając charakterystykę pompy, a nie układu pompowego [3]. Okresowo należy sprawdzać stan techniczny tzw. klap zwrotnych czy też zaworów i wodomierzy.

Numer 4 – moc zużywana na uruchomienie działania geohydrauliki studni  $P_{GH}$  zależy głównie od jej stanu technicznego, jak i jakości zafiltrowania wraz z warstwą przystudzienną. Jakość energetyczną geohydrauliki określa wskaźnik  $e_{GH}$ , którego wartość najlepiej, gdy nie przekracza  $100 \text{ Wh/m}^3$ . Użytkownik ma pośredni wpływ na moc zużywaną na uruchomienie działania geohydrauliki studni, jednak po jej wyraźnej zmianie może uruchomić działania związane z regeneracją studni lub zdecydować np. o tzw. „bisowaniu” studni. Może też ograniczyć dopuszczalną wydajność studni tak by niewiele przekraczać  $e_{GH} = 100 \text{ Wh/m}^3$ .

Numer 5 – moc  $P_{ST}$  związana z tzw. podnoszeniem stałym związanym z położeniem zwierciadła statycznego wody w studni. Podnoszenie to uzależnione jest od głębokości położenia warstwy wodonośnej. Użytkownik w tym zakresie nie ma możliwości optymalizacji tej części mocy i można przyjąć, że im warstwa płycej tym energetycznie lepiej.

Numer 6 – moc  $P_{p2}$  konieczna by pokonać opory na odpływie z układu pompowego i zależy od typu instalacji za układem. Klasycznie można rozróżnić 3 typy odpływu [3], a więc: na sieć, zbiornik lub tzw. „wolny” wypływ. Wartość ta zależy też od odległości np. zbiornika od studni oraz przekroju rurociągu łączącego obiekty. Jeżeli układ pompowy studni pracuje na wspólny rurociąg z innymi studniami ujęcia wartość tej części mocy zależec będzie od oporów „włączania” się układu dla różnych ilości studni.

Przedstawione powyżej metody identyfikacji stanu technicznego studni są sposobami wykorzystującymi najnowsze, patentowane [1,2,3] rozwiązania z zakresu techniki pomiarowej w układach pompowych pomp głębinowych. Dotychczasowe metody pozbawione możliwości dokonywania dokładnego bilansu energii podczas pracy układu pompowego i studni wprowadzały zawsze przybliżenia, które często ukierunkowywały do niewłaściwych wniosków.

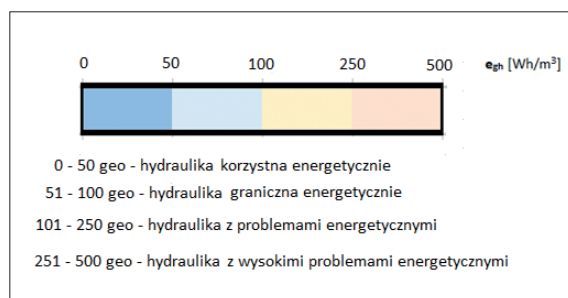


### Geohydraulika studni

Gdy wyznaczmy [4] dokładną wartość części mocy  $P_{GH}$  [kW] (numer 4) poświęconej na wytworzenie depresji  $s$  i podzielimy ją przez wydajność pompy  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] otrzymamy wartość wskaźnika jakości energetycznej geohydrauliki  $e_{GH}$  [ $\text{kWh}/\text{m}^3$ ]. Po przemnożeniu przez 1000 finalnie otrzymamy wskaźnik  $e_{GH}$  w [ $\text{Wh}/\text{m}^3$ ].

Trzeba pamiętać, że byty energetyczne układu pompowego i studni są różne choć powiązane wspólnym położeniem zwierciadła wody w studni –  $H_D$  i wydajnością pompy –  $Q$ . Część mocy w układzie pompowym poświęcona jest na wytworzenie de-

RYS. 2  
6 podstawowych obszarów – miejsc, w których rozpraszana jest moc pracującego układu pompowego pompy głębinowej w studni ujęcia głębinowej



RYS. 3  
Zakres możliwych zmian współczynnika  $e_{GH}$  [ $\text{Wh}/\text{m}^3$ ] i orientacyjne nakreślenie przedziałów korzystnych energetycznie

presji w studni i uruchamia działanie geohydrauliki – inaczej ujmując, efekt funkcjonowania układu generuje geohydraulikę do działania wg jej jakości energetycznej. Przekłada się to dalej na znane w hydrogeologii wskaźniki ocen lecz finalnie wartość depresji – s w studni zależy wprost od jakości bytu – studnia. Pompa ze swoim układem pompowym spełnia tu rolę wykonawczą. Po zastosowaniu patentu EP3271546\_B1 [1] otworzyła się możliwość dokładnego rozliczania energetycznego oddziaływania między bytami: układ pompowy – studnia. Na rys. 3 pokazano zakres możliwych zmian współczynnika  $e_{GH}$  [Wh/m<sup>3</sup>] i orientacyjnie nakreślono przedziały korzystne energetycznie. Praktycznie można przyjąć, że gdy wskaźnik eGH jest większy od 50-100 [Wh/m<sup>3</sup>] mamy już do czynienia ze studnią

z problemami energetycznymi, a gdy przekroczy 200-250 [Wh/m<sup>3</sup>] trzeba się zastanowić, czy taką studnię energetycznie warto eksploatować. Wskaźnik nie określa przyczyn niskiej jakości energetycznej geohydrauliki studni, lecz pomaga użytkownikowi by przeanalizował czy warto dobierać pompę do studni o wysokim zapotrzebowaniu mocy z układu dla danej wydajności studni – Q. Można dobrze dobrać pompę i ocenić pozytywnie jej pracę do wysoko energochłonnej już studni – czasami uszkodzonej (kolmatacja. Itd.). Właśnie  $e_{GH}$  dokładnie pomaga taką sytuację zdiagnozować wykorzystując bieżące pomiary lub z pompowań próbnych studni. Na rys. 4 pokazano jak zmienia się wartość wskaźnika dla studni nr 1 z bardzo dobrą energetycznie geohydrauliką, a więc potrzebującą niewielką moc z układu na jej uruchomienie. Pompa pracuje z wydajnością Q = 25 m<sup>3</sup>/h i dla tej wartości  $e_{GH} = 20$  Wh/m<sup>3</sup>. Po prostym przeliczeniu  $P_{GH} = e_{GH} * Q = 500$  W lub 0,5 kW. Taką wartość mocy zużywamy na działanie geohydrauliki – porównywaną do mocy niezbędnej do pokonania strat liniowych w rurociągu. Rys. 5 pokazuje inną studnię – nr 3, która już po uruchomieniu osiąga wskaźnik  $e_{GH}$  powyżej 100 Wh/m<sup>3</sup>, a w punkcie pracy pompy Q = 25 m<sup>3</sup>/h i  $e_{GH} = 160$  Wh/m<sup>3</sup> co po przeliczeniu odpowiada mocy 4,0 kW. Gdy porównamy ze studnią nr 1 dla tej samej wartości Q = 25 m<sup>3</sup>/h, studnia nr 3 zużywa 8 razy więcej mocy na pracę geohydrauliki ! Niewątpliwie użytkownik powinien się zastanowić, czy nie odstawić jej do regeneracji. Współcześnie, nowe metody rozdziału mocy w pracy układów pompowych [1] realizowane są w SPM<sub>SYSTEM</sub>, gdzie operator systemu znając własne ceny energii może dokładnie zbilansować koszty np. uruchomienia obsługi stanu technicznego studni. Na rys. 6 pokazano fragment ekranu pokazujący dokładne rozliczenie mocy w układzie pompowym. Zestawiono też graficznie oceny: energochłonności układu pompowego oraz stanu jakości energetycznej geohydrauliki studziennej.

Wizualizowany na rys. 6 stan pracy układu pompowego i studni jest w modelach matematycznych systemu oceniony jako pozytywny, tak więc operator nie ingeruje w eksploatację tego ujęcia. Na uwagę zasługuje fakt, że gdy policzymy sprawność energetyczną tego układu otrzymamy wartość  $\eta_{UP} = 0,52$ , a więc pozytywną przy  $e_{GH} = 49$  [Wh/m<sup>3</sup>].

Warto zauważyć, że gdy porównamy sposób liczenia sprawności układu [2,3] wg wzoru;

$$\eta_{up} = \frac{Q(H_D + p_2)}{367 \cdot P_e}$$

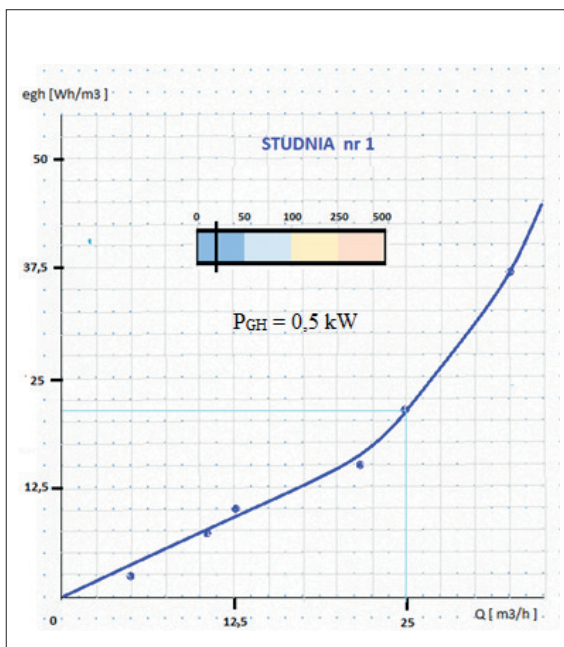
gdzie :

$H_D$  – położenie zwierciadła dynamicznego wody w studni [m],

$p_2$  – ciśnienie na odpływie z układu pompowego [m],

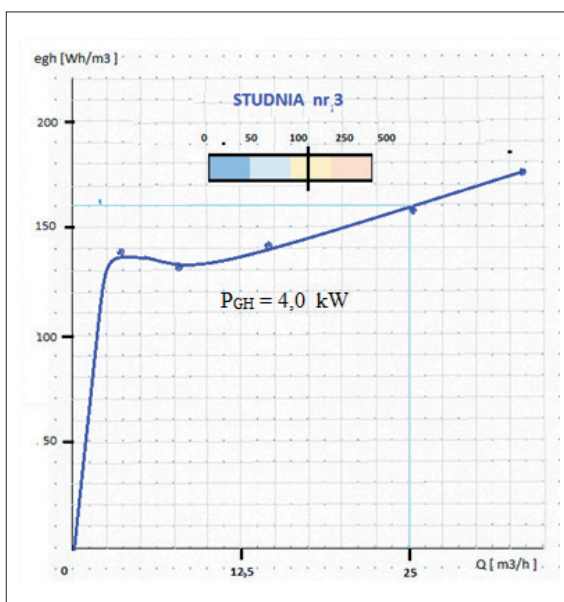
RYS. 4

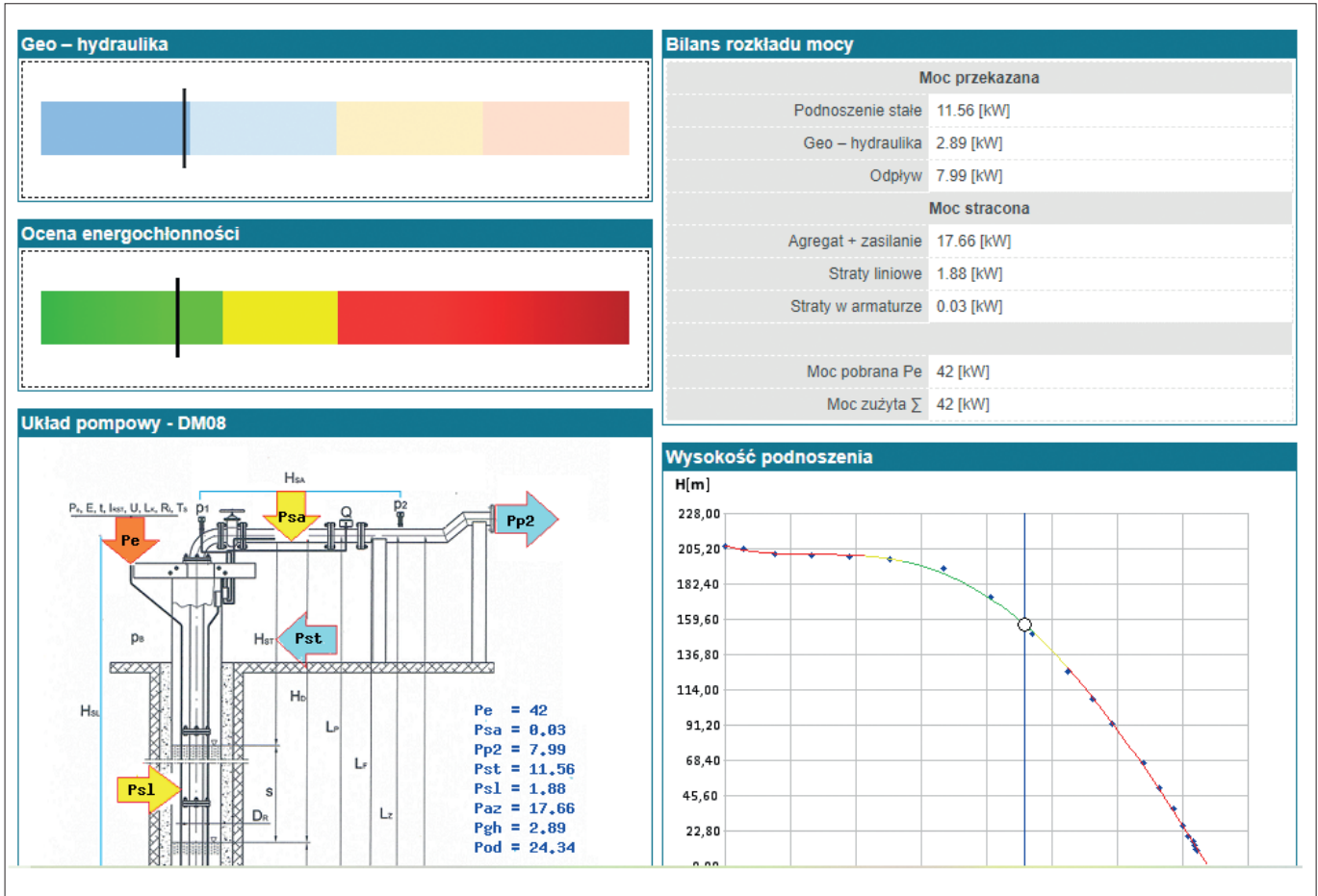
Zmiany wartości wskaźnika dla studni nr 1 z bardzo dobrą energetycznie geohydrauliką



RYS. 5

Studnia nr 3, która po uruchomieniu osiąga wskaźnik  $e_{GH}$  powyżej 100 Wh/m<sup>3</sup>





**RYS. 6**  
Stan pracy układu pompowego i studni oceniany jako pozytywny w modelach matematycznych systemu

$P_e$  – pobór mocy czynnej silnika pompy [kW].  
oraz rzeczywiste wartości z bilansu mocy [4]:  
 $(P_{p2} + P_{ST} + P_{GH})/P_e$   
gdzie :

$P_{p2}$  – moc konieczna by pokonać opory na odpływie z układu pompowego [kW],

$P_{ST}$  – moc związana z tzw. podnoszeniem stałym związanym z położeniem zwierciadła statycznego wody w studni [kW],

$P_{GH}$  – moc zużywana na uruchomienie działania geohydrauliki studni [kW].

Wartości sprawności układu są identyczne.

Wzajemne śledzenie zmian wartości mocy w układzie pompowym otwiera współcześnie zupełnie nowy wgląd w eksploatację ujęcia wód podziemnych.

\*\*\*

Proste sposoby ocen, które często wystarczały w pobieżnych analizach eksploatacji ujęć nie wymagały współcześnie uznanych opomiarowań studni i w wielu przypadkach brak danych uzupełniany był wskaźnikami z doświadczeń praktycznych. Trzeba wiedzieć, że modele matematyczne optymalizujące działania w eksploatacji ujęć i to zarówno po stronie techniki pompowej czy też hydrogeologii potrzebują danych rzeczywistych z pompowań próbnych, jak też,

z aktualnej pracy studni. Wyniki modelowych ocen eksploatacji [5], wraz z analizą kosztów, umożliwiają podejmowanie optymalnych decyzji w zarządzaniu pracą ujęć. Trzeba wiedzieć, że współczesne działania nie przynoszą już oszczędności na poziomie kilkudziesięciu procent, a jest to kilka lub kilkanaście cennych procent. Współcześnie liczy się trafność i szybkość reakcji, która skutecznie podnosi efektywność i jakość eksploatacji.

### Literatura

- [1] Opis patentu EP3271546\_B1 – czerwiec, 2019.
- [2] Strączyński M., Urbański P., Solecki J. Pompy głębinowe, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, Wydanie I, Warszawa, 2019.
- [3] Strączyński M., Urbański P., Latoń D., Energooszczędna eksploatacja pomp głębinowych, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, Wydanie I, Warszawa, 2021.
- [4] Strączyński M., Bilans mocy w układzie pompowym studni ujęciowej, XXIII Konferencja Naukowo – Techniczna, Monografia, PZITS – Częstochowa, 2021,
- [5] Strączyński M., Technika cyfrowa w energooszczędnej eksploatacji pomp i ujęć głębinowych – cz. 4: Zarządzanie w systemowo zorganizowanej eksploatacji pomp i ujęć głębinowych, Pompy Pompownie, 2/2021, październik, Racibórz 2021.