



fot. 123rf

# TECHNIKA CYFROWA W ENERGOOSZCZĘDNEJ EKSPLOATACJI POMP I UJĘĆ GŁĘBINOWYCH

Cz. 1 Modele matematyczne wspomagające podejmowanie decyzji eksploatacyjnych

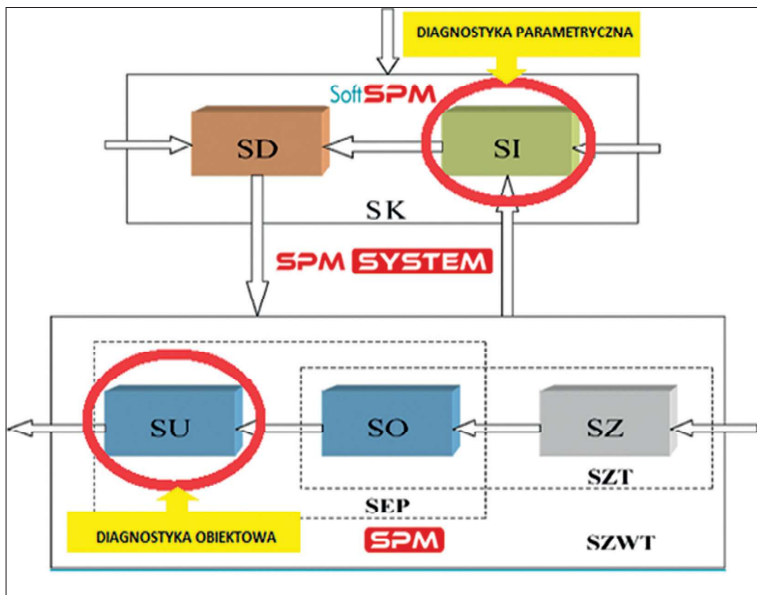
**dr Marian Strączyński**  
niezależny ekspert

Problem optymalizacji energetycznej w eksploatacji ujęć i pomp głębinowych [11] wymaga uwzględnienia wzajemnego przenikania się zagadnień z techniki pompowej, hydrogeologii, elektrotechniki oraz techniki systemów. Systemowe wspomaganie w przetwarzaniu informacji z eksploatacji niewątpliwie ułatwia energooszczędne zarządzanie w tym zakresie.

Zastosowanie techniki cyfrowej w energooszczędnej eksploatacji pomp [2,6,7] z natury rzeczy wiąże się z funkcjonowaniem złożonych systemów cyfrowych, których zadaniem jest pozyskiwanie, przesyłanie, gromadzenie i przetwarzanie znacznych ilości danych i informacji, a niejednokrotnie również sterowanie pracą skomplikowanych układów pompowych wraz z ich diagnostyką. Mówiąc o wdrożeniu techniki cyfrowej, mamy na myśli zastosowanie systemów i urządzeń funkcjonujących z jej wykorzystaniem – systemy i programy komputerowe,

systemy pomiarowe, systemy przekazu danych cyfrowych, systemy i urządzenia automatyki, systemy zarządzania i sterowania.

Głównym celem zastosowania systemów i urządzeń cyfrowych w energooszczędnej eksploatacji pomp jest usprawnienie pracy systemu informacyjnego, a w konsekwencji poprawienie jakości decyzji i zwiększenie efektywności eksploatacji. Założeniem jest, by po uporządkowaniu i przyspieszeniu obiegu informacji można było optymalnie prowadzić eksploatację pomp.



**RYS. 1**  
Zakres budowy systemu eksploatacji jak i jego otoczenia – SPM<sub>SYSTEM</sub>

Przed wdrożeniem systemów i urządzeń cyfrowych należy przygotować i dostosować system informacyjny, kierując się zasadą – tylko niezbędne ilości informacji i tylko wtedy, gdy są potrzebne. Należy również pamiętać, że o efektywności eksploatacji decyduje jakość przetworzenia informacji (głównie na modelach matematycznych), a nie ich ilość i wizualizacja.

Zostawienie dyspozytora czy operatora systemu z nawalem przesyłanych informacji – często wizualizowanych, bez możliwości modelowego przetworzenia generującego decyzje, jest błędem systemowym i trudno w tym przypadku mówić o poprawnym zastosowaniu techniki cyfrowej w eksploatacji pomp.

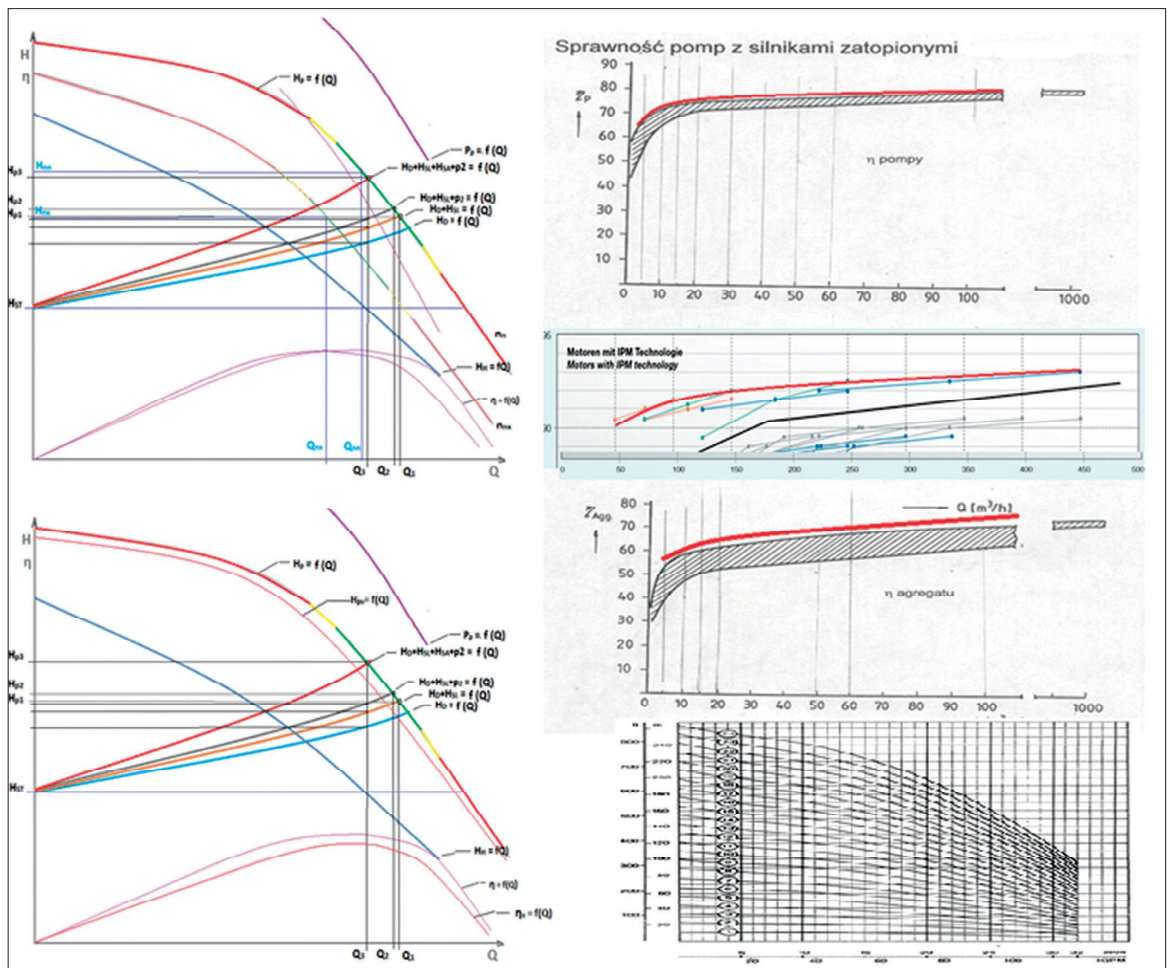
Trzeba pamiętać, że technika cyfrowa ma służyć technice pompowej, a nie odwrotnie!

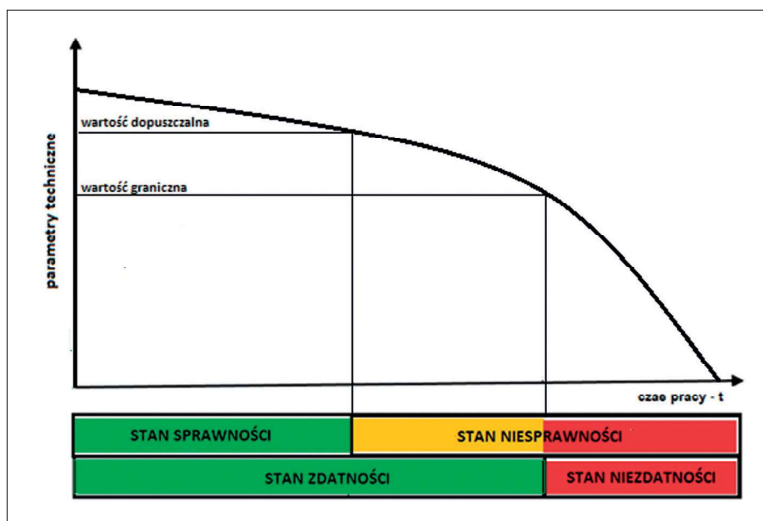
**Budowa systemów eksploatacji pomp głębinowych**

Dla właściwego odzwierciedlenia zależności systemowych, występujących w eksploatacji np. pomp głębinowych, na rys. 1 przedstawiono elementarny zakres budowy samego systemu eksploatacji, jak i jego otoczenia funkcjonującego w przedsiębiorstwie wodociągowym, górniczym czy też w ujęciu przemysłowym [6,7].

System eksploatacji pomp (SEP) tworzą dwa systemy składowe: system użytkowania pomp (SU) oraz system ich obsługiwanania (SO), który wraz z systemem zaopatrywania (SZ) tworzy system zaplecza technicznego (SZT). System eksploatacji pomp (SEP) wraz z systemem zaplecza technicznego (SZT) tworzy system zabezpieczenia wydobywania i transportu wody z ujęcia – SZWT, którego właściwe funkcjonowanie nadzoruje system kierowania (SK) składający się

**RYS. 2**  
Poglądowy widok charakterystyk stanowiących podstawę analiz





z systemu informacyjnego (SI) oraz systemu decyzyjnego (SD). System eksploatacji pomp SEP posiada więc 2 systemy składowe (SU,SO), wchodzi częściowo i całkowicie w skład dwóch systemów (SZT,SZWT) oraz działa współzależnie z dwoma systemami (SI, SD), tworzącymi system kierowania.

Na rys. 1 zaznaczono miejsca prowadzenia diagnostyki obiektowej, jak i parametrycznej, a więc w systemie użytkownika (SU), jak i w systemie informacyjnym (SI), wchodzącym w skład systemu kierowania (SK) wspomaganego przygotowaniem decyzji eksploatacyjnych w systemie decyzyjnym (SD).

### Wyniki analiz modeli matematycznych eksploatacji

Wprowadzenie diagnostyki w systemach eksploatacji głębinowych agregatów pompowych było szczególnie utrudnione, gdyż powszechnie stosowane metody i urządzenia diagnostyczne nie spełniały swoich funkcji w zastosowaniach głębinowych – praca agregatów pompowych pod wodą w wąskich, głębokich studniach – bywa też z zasolonym medium o temp. np. powyżej 36°C, itd. Powszechnie metody np. wibroakustyki stały się zupełnie nieprzydatne. Wychodząc naprzeciw potrzebom dla systemów eksploatacji pomp i ujęć głębinowych [5,6,7], opracowano dwa rozwiązania, które wdrożono do pracy w ramach SPM<sub>SYSTEM</sub>. Pierwszym rozwiązaniem jest zintegrowana sonda pomiarów ciśnień pod wodą, nad króćcem tłocznym pompy głębinowej, która mierzy ciśnienie wewnątrz i na zewnątrz rurociągu tłocznego pompy (patent EP3271546\_B1) [3]. Pomiar ciśnień z sondy umożliwiają wyznaczanie odchyłen rzeczywistej, aktualnej charakterystyki pompy w układzie, w odniesieniu do charakterystyki ze stacji prób wyznaczonej przed zabudową pompy w studni. Mamy więc możliwość wykonania dokładnej diagnostyki parametrycznej pracy układu pompowego wykonywanej przez modele matematyczne systemu, uwzględniające: charakterystykę energetyczną głębinowego agregatu pompowego ze stacji prób,

aktualną charakterystykę agregatu pracującego w studni, charakterystykę studni wykonaną w czasie pompowania próbnego – po przekazaniu studni, bieżącą charakterystykę studni, charakterystykę układu pompowego zawierającą aktualną wartość strat liniowych rurociągu oraz strat w armaturze studziennej. Modele matematyczne [8,10] uwzględniają też typ budowy głębinowego agregatu pompowego z katalogowymi wartościami sprawności pompy i silnika głębinowego. Na rys. 2 pokazano widok ekranu ocen matematycznych oraz diagnostyki wraz z poglądowym widokiem charakterystyk stanowiących podstawę analiz. Analizy systemu [1] uwzględniają wprowadzone w modelu porównania wartości rzeczywistych odchyłek parametrów od wprowadzonych wartości dopuszczalnych i granicznych – rys. 3. W diagnostyce parametrycznej wartości odchyłek są powiązane z typem budowy pompy i silnika (pom-

RYS. 3 Zakresy wartości dopuszczalnych i granicznych stanowiące podstawę ocen

RYS. 4 Systemowe urządzenie diagnostyki głębinowego agregatu pompowego



py: w wielkościach 4", 6"..., odśrodkowe, diagonalne; silniki w wielkościach 4", 6"..., asynchroniczne mokre, półsuche, synchroniczne, itp.). Takie zestawienie parametrów, uwzględniających diagnostykę układu



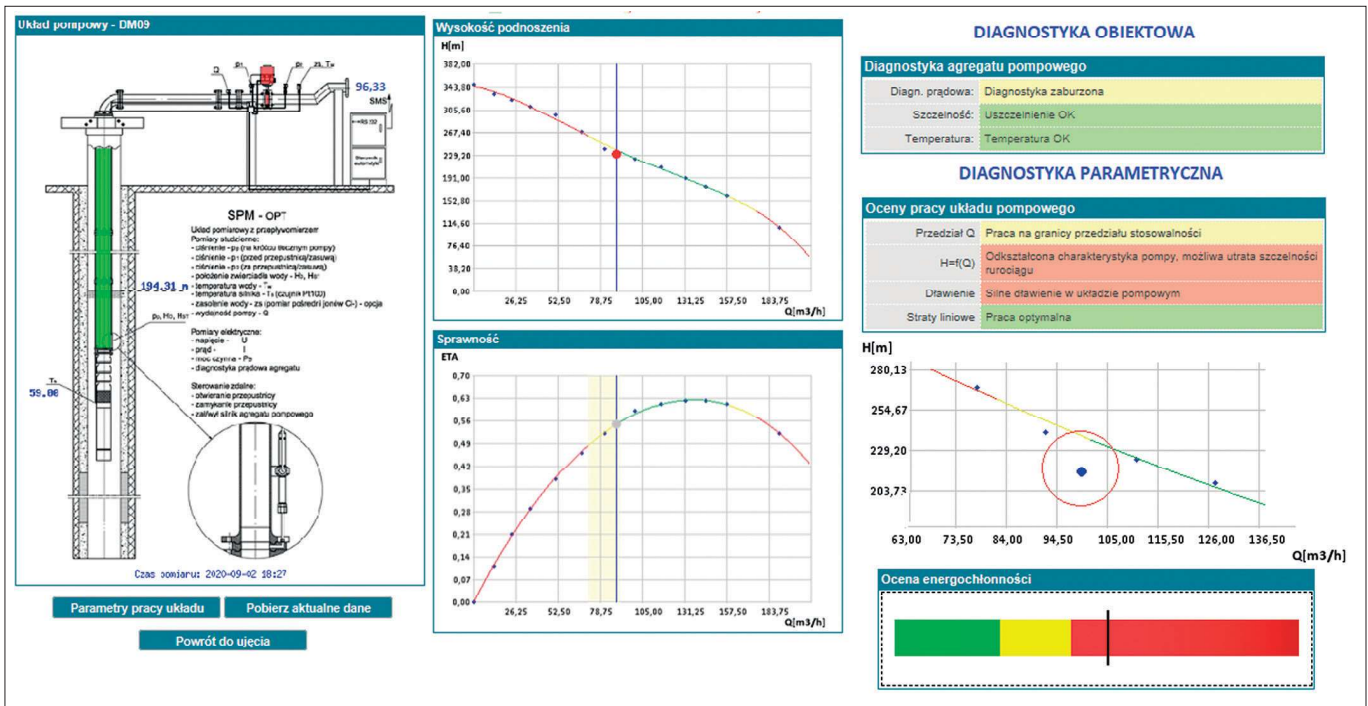
#### DIAGNOSTYKA OBIEKTOWA

Diagnostyka agregatu pompowego	
Diagn. prądowa:	Diagnostyka OK
Szczelność:	Uszczelnienie OK
Temperatura:	Temperatura ostrzegawcza

#### DIAGNOSTYKA PARAMETRYCZNA

Oceny pracy układu pompowego	
Przedział Q	Praca na granicy przedziału stosowności
H=f(Q)	Odkształcona charakterystyka pompy, możliwa utrata szczelności rurociągu
Dławnienie	Silne dławnienie w układzie pompowym
Straty liniowe	Praca optymalna

RYS. 5 Ocena energochłonności układu wraz z diagnostyką



**RYS. 6**  
Przykładowy widok ekranu ocen – SPM<sub>SYSTEM</sub>

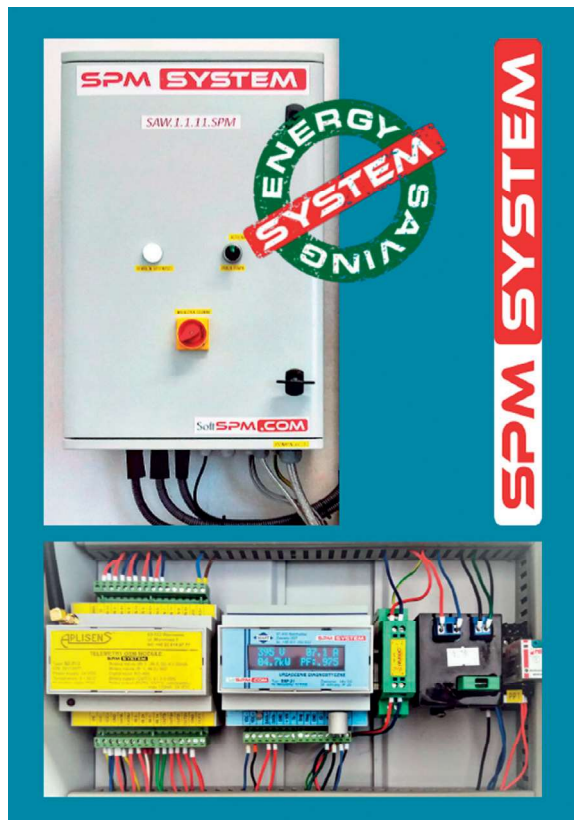
pompowego wraz z głębinowym agregatem pompowym oraz diagnostykę studni [2,4] (kolmatacja, stan techniczny filtrów, strefa wodonośna, ...) jest zupełnie nowym podejściem do analizy niezawodności eksploatacji układu: agregat pompowy – studnia. Analizy te wymagają korzystania z najnowszych osiągnięć z techniki pompowej, elektrotechniki, techniki systemów, techniki wiertniczej oraz hydrogeologii.

Zgodnie z podstawowym założeniem w SPM<sub>SYSTEM</sub> równolegle z prowadzoną diagnostyką parametrycz-

ną prowadzona jest diagnostyka obiektowa, która uzupełnia dalszą możliwość śledzenia niezawodności eksploatacji pomp i ujęć głębinowych. Jak wspomniano, diagnostykę obiektową prowadzimy w systemie użytkownika (SU) – rys. 1, a więc w terenie, czyli bezpośrednio „przy studni”. Diagnostykę obiektową oparto na testowanej od kilkunastu lat zależności w wielkościach i zakresach zmian – wahań, w poborze prądu silnika głębinowego, a stanem technicznym głębinowego agregatu pompowego. Opracowano specjalnej konstrukcji urządzenie diagnostyczne – rys. 4, które mierząc skuteczne wartości prądu pobieranego przez silnik głębinowy (w każdym okresie) i analizując zmiany tych wartości, zgodnie z zasadą diagnostyki (rys. 3), przekazuje wyniki analiz do modelu matematycznego, a tym samym uzupełnia zakres analiz pracy układu. Podobnie jak w diagnostyce parametrycznej, wartości odchyłek – wahań w poborze prądu, powiązane są z typem budowy i typowielkością pompy i silnika (pompy: w wielkościach 4”, 6”..., odśrodkowe, diagonalne, śmigłowe; silniki w wielkościach 4”, 6”..., asynchroniczne mokre, półsuche). Urządzenie diagnostyczne (rys. 4) umożliwia też śledzenie zmian temperatury silnika głębinowego – PT-100, temperatury pompowanego medium oraz wartość przewodnictwa elektrycznego cieczy, którą wypełniony jest silnik. Pomiary elektryczne wykonywane przez urządzenie:  $U$ ,  $I$ ,  $P_e$ ,  $\cos \Phi$ ,  $f$ ,  $T$  wraz z przystosowaniem go do współpracy z falownikiem w pełni pokrywa potrzeby systemowe.

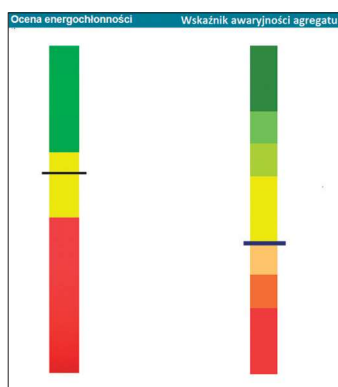
Rys. 5 pokazuje bieżącą, jednoznaczną ocenę energochłonności układu oraz wyniki komunikatów z diagnostyki parametrycznej i obiektowej. Oceny te pochodzą z wielowymiarowych przeliczeń składowych, w tym również uwzględniają-

**RYS. 7**  
Zestaw lokalnego systemu opomiarowania, przekazu danych i sterowania



cych występujące już odchylenia np. charakterystyki pompy.

Na rys. 6 pokazano przykładowy widok ekranu wizualizującego wyniki ocen diagnostyk – parametrycznej i obiektowej (SPM<sub>SYSTEM</sub>) wskazującej np. na ewidentnie przekroczony stan pracy układu pompowego oraz studni. Charakterystycznym jest, że operator systemu na tej podstawie może już podjąć decyzję o wymianie pompy głębinowej, natomiast układ pompowy jeszcze pracuje i podaje wodę z ujęcia. Komplet bieżących danych ze studni przekazywany jest standardowo co 15 min, z zainstalowanego systemu opomiarowania i sterowania oraz przekazu danych – rys. 7. Zestaw bieżących i wcześniej zmierzonych parametrów pracy głębinowego agregatu pompowego oraz studni umożliwia precyzyjny dobór następnego agregatu, natomiast przeszukiwanie własnych lub zewnętrznych rezerw nie jest prowadzone awaryjnie w pośpiechu. Posiadając własny potencjał remontowy można przygotować przeprowadzenie remontu agregatu zastępczego lub uruchomić prace przygotowawcze do remontu aktualnie pracującego agregatu po jego wybudowie. W przypadku braku rezerw można przygotować zakup nowego agregatu pompowego, którego parametry można określić wg zainstalowanego w SPM<sub>SYSTEM</sub> KREATORA doboru pompy do układu pompowego, współpracującego ze studnią. Możliwości jest wiele, jednak najważniejszą jest zmiana trybu pracy z awaryjnego na energetycznie zoptymalizowany. Powszechnie wiadomo [6,7], że utrzymywanie niskiego wskaźnika energochłonności nie tylko sprowadza się do właściwego doboru pompy, lecz później do właściwego sterowania i śledzenie zmian w eksploatacji. Już dziś prowadzone są dalsze prace związane z aktywną oceną prawdopodobieństwa wystąpienia awarii agregatu – rys. 8. Modele matematyczne w tym przypadku wykorzystują charakterystyki funkcji niezawodności, które dostępne są w bibliotekach systemu [9]. Podobnie jak w systemach militarnych czy też telekomunikacyjnych, śledzenie funkcji niezawodności jest procesem złożonym i kosztownym, jednak koniecznym. W odpowiedzialnych procesach eksploatacji, a do takich niewątpliwie należy ujęcie i dostawa wody ze studni, zagadnienia te będą w najbliższej przyszłości szybko rozwijane i przyniosą spore efekty ekonomiczne.



**RYŚ. 8**  
Ocena energochłonności i prawdopodobieństwa wystąpienia awarii

\*\*\*

Systemowa ocena energochłonności wraz z diagnostyką i analizą niezawodności układu: pompa – studnia, gwarantują uzyskanie wysokiej oszczędności kosztów w tym skomplikowanym procesie. Trzeba pamiętać, że wprowadzenie techniki cyfrowej usprawnia pracę systemu, jednak zawsze zarządzanie eksploatacją wymaga posiadania wiedzy i dużego doświadczenia praktycznego.

## Literatura

- [1] Adamkiewicz W., Wstęp do racjonalnego wykorzystania urządzeń technicznych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1982.
- [2] Materiały konferencyjne, Seminarium Szkoleniowo-Pracownicze, Energooszczędna, systemowa eksploatacja ujęć i pomp głębinowych, „Orle Gniazdo Hucisko”, 16-17 listopada 2017.
- [3] Opis patentu EP3271546\_B1 – czerwiec, Bruksela 2019.
- [4] Polak K., Górecki K., Diagnostyka warunków pracy studni ujęciowej oraz systemu pompowo-tłocznego na podstawie próbnego pompowania, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Warszawa, sierpień, 2016.
- [5] Pakuła G., Strączyński M., Podręcznik eksploatacji pomp w górnictwie, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, wydanie I, Warszawa, 2013.
- [6] Strączyński M., Pakuła G., Urbański P., Solecki J., Podręcznik eksploatacji pomp w wodociągach i kanalizacji, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, wydanie III, Warszawa, 2017.
- [7] Strączyński M., Urbański P., Solecki J. Pompy głębinowe, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, Wydanie I, Warszawa, 2019.
- [8] Strączyński M., Wąsowski J., Zatorski P., Systemowe zarządzanie, monitoring oraz sterowanie w eksploatacji pomp i ujęć głębinowych – SPM<sub>SYSTEM</sub>. Forum Eksploatatora, maj-czerwiec, Warszawa 2015.
- [9] Strączyński M., Analiza niezawodności w eksploatacji pomp i ujęć głębinowych, Forum Eksploatatora, lipiec-sierpień, Warszawa 2018.
- [10] Strączyński M., Oszczędność energii w eksploatacji pomp i ujęć głębinowych – cz. 2 modele matematyczne wspomagające podejmowanie decyzji eksploatacyjnych, Forum Eksploatatora 3/2019, maj-czerwiec, Warszawa 2019.
- [11] Woszczyk R., Energooszczędna eksploatacja ujęć głębinowych w ZWiK Myszków. Forum Eksploatatora, styczeń-luty, Warszawa 2016.

**SPM SYSTEM**

**System zarządzania, monitoringu i sterowania eksploatacją ujęć i pomp głębinowych**

- Pewność, niezawodność w dostawie wody z ujęcia
- Interaktywny, cyfrowy monitoring pracy ujęć przez internet – abonament w wykorzystaniu Chmury SPM
- Leasing zestawów opomiarowania i oprzyrządowania studni – SPMbase
- Diagnostyka studni i pomp głębinowych – zmniejszenie energochłonności eksploatacji ujęć
- Szkolenia, konsulting – ekspertyzy, analizy funkcji ryzyka w dostawach wody z ujęć

MAST Dr Marian Strączyński, Zawady 20P, 97-400 Bełchatów  
tel. 601 292 632, e-mail: mast@mast.com.pl

www.softspm.com