

Piotr GIERA, Roman MIELCAREK

*Institut Informatyki  
Politechnika Poznańska*

## KONDUKTOMETRYCZNY PRZETWORNIK POZIOMU CIECZY

### THE CONDUCTOMETRIC TRANSDUCER OF THE LIQUID LEVEL

*The paper presents the problem of developing a 16-point, conductometric transducer of the water level to the binary code and the PWM signal. The transducer has been used in laboratory models of water supply and sewage facilities. The overriding aim was to achieve the lowest cost of introducing measurement information from the transducer to the PLC. First the idea of the transducer design has been presented and the algorithm transforming the code from the probes sensors to the binary and PWM codes has been discussed. Next two transducer versions: without an with the microcontroller have been presented. Then two laboratory models of facilities: water intake and pumping stations have been presented, where the transducer discussed is applied. Finally issues of the level readout by the PLC controller has been discussed.*

## 1. Wprowadzenie

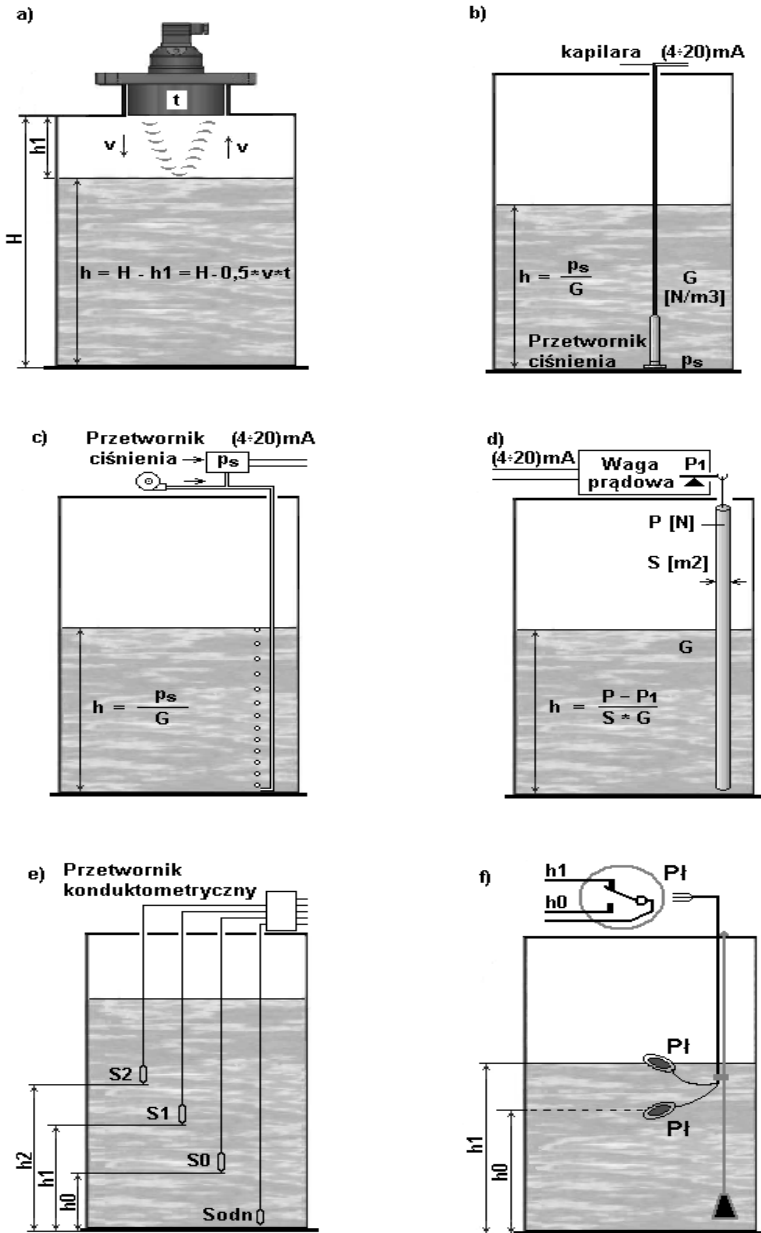
Jednym z kilku istotnych parametrów obiektów wodociągowo-kanalizacyjnych jest poziom wody lub ścieków występujących w tych procesach. Wartość tego parametru wskazuje zawsze „ile” danego medium posiada dany obiekt i stanowi najczęściej podstawę do podjęcia określonej decyzji sterowania tym obiektem.

Ogólnie, wybór metody pomiaru poziomu cieczy jest zależny od jej rodzaju, zbiornika cieczy, zakresu pomiarowego, dokładności pomiaru i szybkości odwzorowania dynamiki zmiany poziomu [1]. Wprowadzenie wartości poziomu do systemu cyfrowego, którym obecnie jest najczęściej sterownik PLC (*ang. Programmable Logic Controller*), wymaga albo udyskretnienia wartości poziomu w wejściowym przetworniku obiektywnym, albo przekazanie go w postaci ciągłej – analogowej. W przypadku pierwszym wykorzystać można dwustanowe wejścia sterownika, w przypadku drugim konieczny będzie systemowy przetwornik analogowo-cyfrowy A/C.

Obiektowy przetwornik poziomu dla przypadku pierwszego oparty jest na zasadzie:

- dwustanowej lub wielostanowej sygnalizacji przekroczenia określonego poziomu,
- generacji cyklicznego sygnału impulsowego.

Przetwornik dla przypadku drugiego generuje analogowy, ciągły sygnał prądowy lub napięciowy.



Rys. 1. Wybrane przykłady pomiaru poziomu cieczy z użyciem przetwornika: a) ultradźwiękowego, b), c) ciśnienia, d) ciężaru, e) konduktometrycznego, f) pływakowego

Fig. 1. Selected methods of liquid measurement methods a) ultrasonic, b, c) pressure, d) weight, e), conductometric, f) floating

Przetworniki poziomu, z których wybrane przedstawiono na rys.1, mogą pracować w oparciu o jedną z niżej wymienionych zasad:

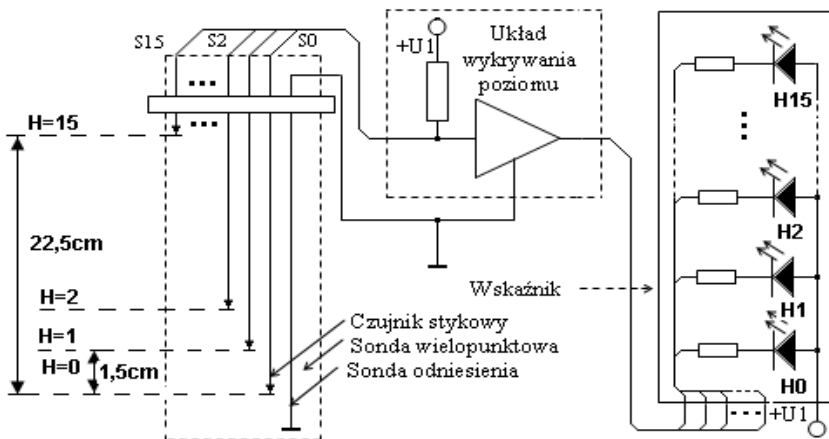
- bezstykową: ultradźwiękową, pojemnościową,
- stykową: pływakową, - konduktometryczną (przewodnościową),
- ciśnieniową: - przetwornik ciśnienia z kapilarą do pomiaru ciśnienia słupa cieczy,  
- przetwornik ciśnienia powietrza w otwartej instalacji ciśnieniowej z ujściem na dnie zbiornika,
- wagową - pomiar ciężaru sondy pomiarowej zanurzonej w cieczy.

W ogólnym przypadku każdy z ww. przetworników może mieć wyjście typu dyskretnego lub ciągłego.

## 2. Pomiar małych poziomów

Pomiar małych poziomów wody najprościej wykonać metodą konduktometryczną, w której dokładność można sprowadzić do granicy pojedynczych milimetrów. Rozdzielczość metody zależała będzie od zwilżalności końcówki sondy czujnikowej przez wodę i zależne od tego od zjawiska menisku wypukłego pojawiającego się na tej końcówce. Zastosowanie materiału przewodzącego dla sondy o zerowej zwilżalności i zakończenie jej końcówki bardzo małą średnicą (ostry szpic) pozwala spełnić ww. założenie uzyskania danej rozdzielczości.

Potrzeba pomiaru poziomu wody w zakresie 22,5 cm z rozdzielczością 1,5cm (dokładność 6,7%) w zbiorniku modelu przepompowni czy też w modelu ujęć skłoniła do wyboru metody konduktometrycznej zasady działania przetwornika poziomu. Współpracowałby on z wielopunktowym czujnikiem stykowym, który z uwagi na założoną wyżej rozdzielczość pomiaru posiadałby 16 sond czujnikowych. Widok takiej sondy wraz ze wskaźnikiem poziomu przedstawiono na rys. 2.



Rys.2. Sonda konduktometryczna z naniesionymi wymiarami i wskaźnik poziomu

Fig.2. Conductometric probe with dimensions and level indicator

Sam wskaźnik, oprócz swojej zasadniczej funkcji wskazywania poziomu, szczególnie istotnej przy nieprzeźroczystej ścianie zbiornika, pełni funkcję diagnostyczną, pozwalającą kontrolować sprawność toru sygnałowego danej sondy czujnikowej.

Drugą zaletą wybranego rozwiązania jest całkowicie cyfrowy algorytm przetwarzania, zarówno w samym przetworniku poziomu jak i w dalszym przetwarzaniu informacji w sterowniku PLC, który jest głównym urządzeniem kontrolnym i sterującym dla danego modelu.

### 3. Przetwornik poziomu na kod binarny

Podstawową zadaniem przetwornika poziomu jest konwersja sygnałów z sond czujnikowych poziomu na binarny kod dwójkowy. Przekaz sygnałów w kodzie sondy przy założonej dokładności wymagałby połączenia z urządzeniem nadzorującym (sterownikiem PLC) minimum 16 sygnałów z czujników poziomu. Czyniłoby to rozwiązanie mało ekonomiczne i punkt ciężkości przetwarzania zostałby przeniesiony na sterownik PLC, acz bardzo proste z punktu widzenia struktury i komplikacji układu. Brak ekonomiczności wyraża się kosztem liczby zajętych wejść binarnych sterownika. Wstępne przetworzenie kodu sond czujnikowych (kod wypełnieniowy - **KW**) na kod dwójkowy (**KD**) pozwoliłoby uzyskać rozwiązanie 4-krotnie tańsze od wyżej analizowanego. W tabeli 1 przedstawiono kombinacje obydwóch kodów dla wybranych, skrajnych wartości poziomu i 16 sondach czujnikowych.

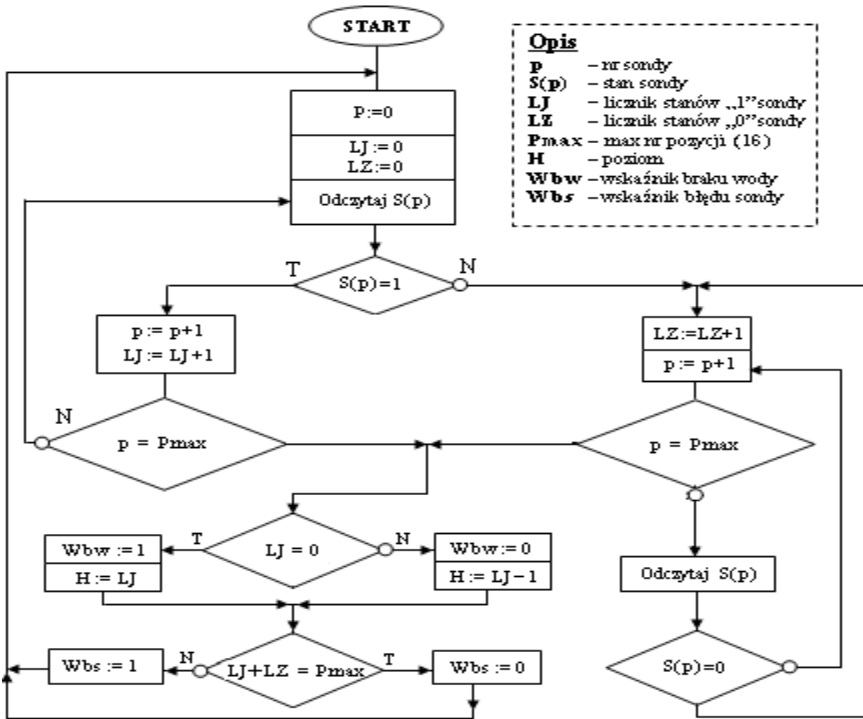
Tab. 1. Tabela konwersji kodu wypełnieniowego KW na kod dwójkowy KD

Tab. 1. The conversion table for probe code KW on the binary code KD

Lpk	1	2	3
		KW	KD
Lpw	Poziom\Pozycja	5432 1098 7654 3210	3210
1	-	0000 0000 0000 0000	----
2	0	0000 0000 0000 0001	0000
3	1	0000 0000 0000 0011	0001
4	2	0000 0000 0000 0111	0010
5	3	0000 0000 0000 1111	0011
6	...	...	...
7	14	0111 1111 1111 1111	1110
8	15	1111 1111 1111 1111	1111

Znaki (-) we wierszu nr 1 tabeli oznaczają stan braku kontaktu z wodą sondy czujnikowej nr 0 (pozycja nr 0 w KW). Stan ten może być sygnalizowany w KD np. pulsacją wszystkich 4 pozycji kodu. Wytluszczone numery pozycji KW są z dekady dziesiątek. Algorytmów konwersji KW/KD można by wymienić co najmniej dwa, lecz wybrany został algorytm zliczania pozycji będących w stanie „1”. Stan ten będzie uitożsamiany ze stanem kontaktu sondy czujnikowej z wodą. Algorytm ten umożliwia ponadto uzyskanie informacji o stanie braku wody w zbiorniku (brak kontaktu wody ze sondą nr 0) a także informacji awaryjnej o braku kontaktu z wodą sondy nr (p), gdy stan odmienny sygnalizują sąsiednie sondy nr (p-1) i (p+1). Algorytm ten przedstawiono na rys. 3.

Jak z sieci działań wynika, przetwornik poziomu dostarczać będzie nie tylko 4-ro bitowej liczby o wartości poziomu wody ale także dwa wskaźniki (bity) diagnostyczne: o błędzie (Wbs) w kodzie wejściowym KW sond przetwornika i o braku kontaktu z wodą jakiegokolwiek sondy (Wbw).



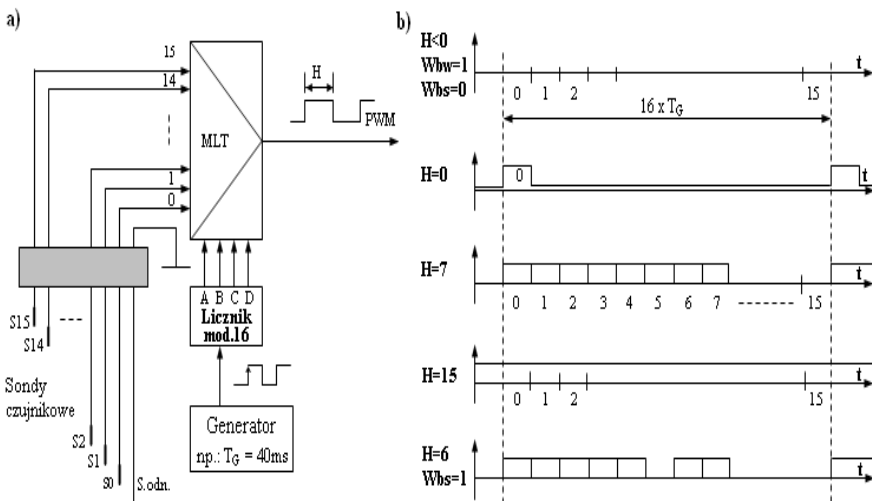
Rys.3. Sieć działań przetwarzania kodu sondy KN na kod dwójkowy KD

Fig.3. The processing network of transcoding the KN code of the KD binary code

## 4. Przetwornik poziomu na kod PWM

Mimo, że w wyniku przetwarzania z p.3 uzyskano znaczną (4-ro krotną) redukcję liczbę sygnałów pomiędzy wielopunktową sondą a sterownikiem PLC, to każda dalsza redukcja liczby tych połączeń przyczyniłaby się do uatrakcyjnienia ww. rozwiązania. Graniczną wartością tej redukcji byłby tylko jeden sygnał co byłoby wartością optymalną. Wymagałoby to wprowadzenia kodowania czasowego stanu tego sygnału, co w najprostszym wariancie prowadzi do kodowania szerokości impulsu, czyli do modulacji PWM (*ang.: Pulse Wide Modulation*). Ponieważ sam kod narastający KN sondy, jeśli byłby nadawany szeregowo, jest już kodem PWM, stąd pierwsze nasuwające się rozwiązanie będzie oparte na tej właśnie zasadzie. Zilustrowano ją schematem blokowym układu przetwornika na rys.4a. Na rys. 4b pokazano wykresy czasowe sygnału PWM poziomu wody dla czterech przykładowych sytuacji poziomu H.

Dodatkową zaletą ww. rozwiązania jest także możliwość programowego stwierdzenia przez sterownik PLC dwóch sytuacji „awaryjnych”: braku wody ( $H=? \Rightarrow Wbw=1$ ) i błędu kodu sondy ( $Wbs=1$ ).



Rys.4. Układ blokowy a) przetwornika poziomu na kod PWM, b) wykresy czasowe sygnału wyjściowego PWM dla czterech wartości poziomu H

Fig.4. A block diagram of: a) the level to the PWM code converter, b) timelines of the PWM output signal for four values of level H

## 5. Przetwornik poziomu z wykorzystaniem mikrokontrolera

Uzyskanie w wyżej przedstawionym układzie przetwornika poziomu dwóch sposobów odczytu informacji o aktualnym poziomie, w postaci kodu dwójkowego KD i sygnału z kodowaniem PWM, aczkolwiek jest możliwe, lecz nie ma uzasadnienia ekonomiczno-funkcjonalnego. Lepszym rozwiązaniem, zdecydowanie bardziej elastycznym

i posiadającym znaczne możliwości funkcjonalnej rozbudowy, jest zastosowanie mikrokontrolera ( $\mu K$ ) do realizacji przetwarzania informacji z sond czujnikowych. Wybór padł na  $\mu K$  Atmega8 firmy Atmel [2,4], z uwagi na posiadany zestaw uruchomieniowy jak i doświadczenie z tym mikrokontrolerem.

Określenie struktury przetwornika wymagało wyspecyfikowania sygnałów wejściowych i wyjściowych przetwornika, i przyporządkowania tych sygnałów do zastosowanego  $\mu K$ . Sygnałami tymi były:

- 16 sygnałów wejściowych z sond czujnikowych,
- 4 sygnały wyjściowe kodu dwójkowego KD poziomu wody H,
- 1 sygnał wyjściowy kodu PWM poziomu wody H,
- 1 sygnał wyjściowy sygnału statusowego **Wbw** braku wody,
- 1 sygnał wyjściowy sygnału statusowego **Wbs** błędnego kodu sondy.

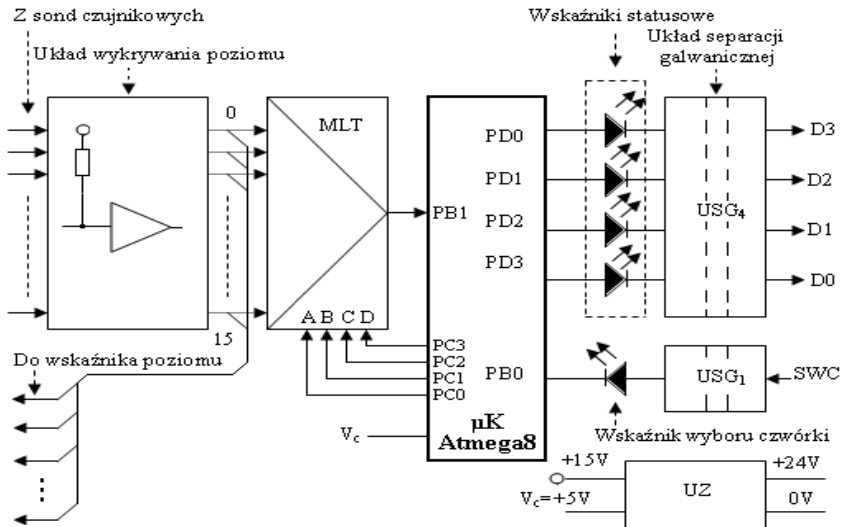
Z uwagi na to, że zastosowany  $\mu K$  Atmega8 nie posiada możliwości wprowadzenia i wyprowadzenia tylu sygnałów bezpośrednio, zastosowano multiplekserowane (1 z 16) wprowadzanie sygnałów z sond czujnikowych do  $\mu K$  i multiplekserowane (4 z 8) wyprowadzanie sygnałów wyjściowych w dwóch czwórkach (tetradach) wyjściowych. Wybór czwórki uzależniono od dodatkowego sygnału wejściowego **We0**. W efekcie zastosowany  $\mu K$  musiał przyjąć:

- 1 sygnał stanu sondy czujnikowej nr „p”,
- 1 sygnał wyboru **We0** czwórki danych wyjściowych z przetwornika dla odczytu zewnętrznego,

i musiał wygenerować:

- 4 sygnały adresu „p” sondy czujnikowej,
- 4 sygnały czwórki danych wyjściowych **Wy(3-0)**.

Schemat blokowy tak zdefiniowanego przetwornika przedstawiono na rys.5.

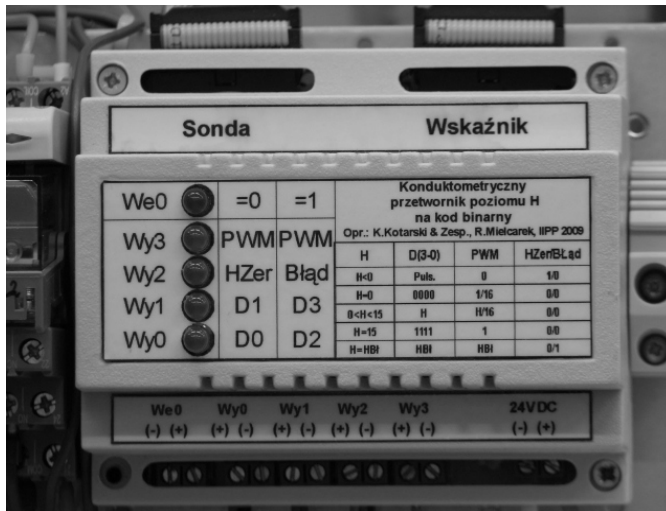


Rys.5. Układ blokowy mikroprocesorowego przetwornika poziomu

Fig.5. Block diagram of the microprocessor level transducer

Mikrokontroler przetwornika wyznacza wartość poziomu (KD) w oparciu o algorytm omówiony w p.3. Natomiast do wygenerowania sygnału PWM wykorzystano część danych z tego algorytmu oraz wewnętrzne przerwania zegarowe o okresie TG=40ms. Przetwornik zasilany jest typowym, bezpiecznym napięciem stałym dla układów automatyki  $U_a = 24VDC$ , aby uzyskać zgodność sygnałową ze sterownikiem PLC pobierającym dane o stanie poziomu. Dla celów polepszenia diagnostyki wprowadzono we wszystkich torach przekazu do/z PLC diody świecące, wskazujące stan danego sygnału. Sygnał PWM umieszczono na tej samej pozycji (**Wy3**) w każdej z czwórek danych wyjściowych, aby niezależnie od wyboru czwórki sygnał ten był ciągły.

Na rys.6. przedstawiono zdjęcie przetwornika. Opis elewacyjny przetwornika definiuje znaczenie pozycji każdej z dwóch czwórek sygnałów wyjściowych Wy(3-0). Odczyt wartości poziomu w kodzie dwójkowym KD wymaga złożenia 4-bitowego słowa KD (D(3-0)) z dwóch najmłodszych pozycji każdej odczytanej czwórki. Stan braku wody (**Wbw**) przekazywany jest sygnałem **HZer** natomiast wskaźnik błędnego kodu sondy (**Wbs**) błąd oznaczony jest skrótem **Błąd**.



Rys.6. Zdjęcie mikroprocesorowego przetwornika poziomu - opis elewacyjny

Fig.6. A photograph of the microprocessor level transducer – elevation description

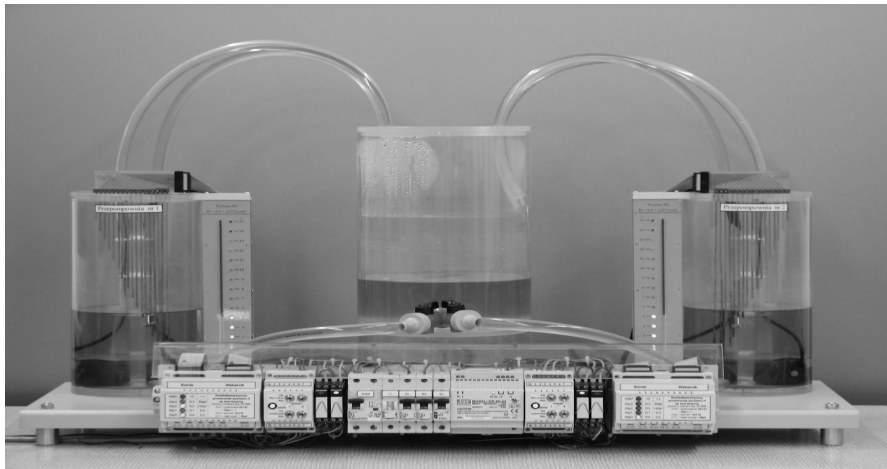
## 6. Modele laboratoryjne

Jak wspomniano na wstępie pracy, opracowanie omawianego, konduktometrycznego przetwornika poziomu wody na kod binarny oraz na sygnał PWM podyktowane było koniecznością wyposażenia w takie przetworniki laboratoryjnych modeli obiektów wodociągowo-kanalizacyjnych. Pierwszym z nich był model dwóch przepompowni ścieków – rys.7a, drugim model dwóch ujęć wody – rys. 7b.

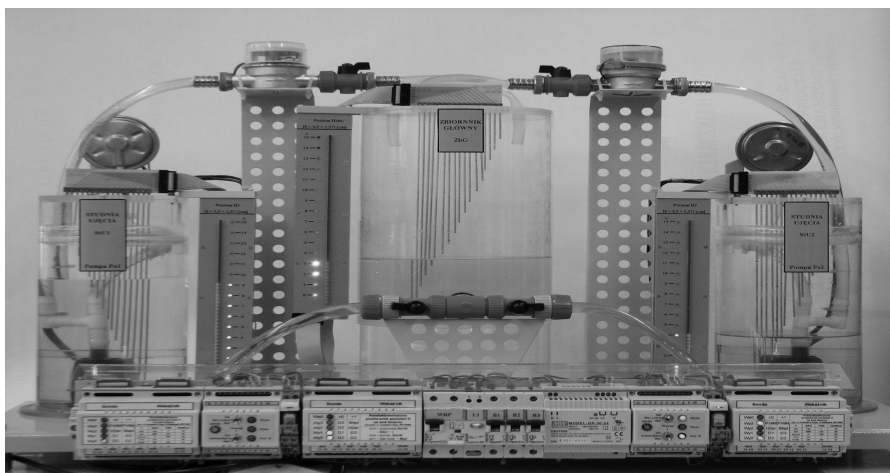


Model przepompowni ścieków umożliwia zapoznanie się z problematyką sterownia taką przepompownią w oparciu o wybrany algorytm sterowania i przeprowadzenie wizualizacji stanu urządzeń przepompowni i ich parametrów na terminalu operatorskim lub w systemie wizualizacji dyspozytorskiej SCADA.

a)



b)



Rys.7. Zdjęcia: a) modelu przepompowni ścieków, b) modelu ujęć wody

Fig.7. Photographs of: a)sewage pumping station model b) water intake model

Natomiast model ujęć wody pozwala na zapoznanie się z problematyką sterowania pompą ujęcia i obliczeniem parametrów takiego ujęcia jak np. przepływem bieżącym i sumarycznym wydobywanej wody ze sygnału impulsowego przepływomierza, wyliczeniem poziomu wody nad pompą, określeniem współczynnika sprawności ujęcia, itp. W tym modelu również celem finalnym jest wizualizacja jej stanu.

W każdym z ww. przypadków jednym z parametrów niezbędnych do podjęcia decyzji sterującej jest znajomość poziomu wody w zbiorniku modelu. Odczyt poziomu w kodzie dwójkowym KD jest stosunkowo prosty, gdyż polega na złożeniu dwóch 2-bitowych słów (D1,D0 i D3,D2) w jedno słowo 4-bitowe (D(3-0)).

Bardziej złożonym algorytmem obliczenia poziomu jest odczyt jego wartości ze sygnału PWM. Wymaga on znajomości okresu impulsowania  $T_I = 16 \cdot T_G$  (patrz rys.4.1b), na bazie którego wyliczany jest okres generatora TG. Do określenia wartości poziomu H konieczna jest znajomość  $T_1$  - czasu trwania stanu „1” w sygnale PWM, który trzeba zmierzyć. Stanem tym przekazywane są numery tych sond czujnikowych, które mają kontakt z wodą. Wartość wskazywanego poziomu H ( $H \geq 0$ ) w jednostkach  $[J_n]$  różnicy długości sond określa zależność:

$$H = [T_1/T_G - 0,5]_E \quad [J_n] \quad (1)$$

gdzie indeks E oznacza wartość całkowitą z wyniku równania.

## 7. Podsumowanie

Opracowany przetwornik został wykonany w dwóch wersjach. Wersja nr I – bez sygnału PWM i wersja nr II – z sygnałem PWM (rys.6). Dzięki zastosowaniu mikrokontrolera do wewnętrznego przetwarzania, zmiana sprowadzała się tylko do zmiany programu dla wersji II. Wersja ta wymagała także wprowadzenia przerw zegarowych o założonym okresie ( $T_G$ ). Celem dydaktycznym tej wersji było uzyskanie dwóch alternatywnych metod odczytu informacji o stanie poziomu.

Celem nadrzędnym konstrukcji wersji II przetwornika poziomu było sprawdzenie sposobu rozkodowania wartości poziomu ze sygnału PWM w sterowniku PLC rodziny FX firmy Mitsubishi Electric [3], gdyż jak wspomniano na wstępie p.4, wersja ta cechuje się najmniejszym kosztem wprowadzenia wartości poziomu do sterownika, gdyż zajmuje w nim tylko jedno wejście dwustanowe. Uzyskano zatem wersję przetwornika przemysłowego ( $U_a=24VDC$ , separacja galwaniczna), mogącego mieć zastosowanie wszędzie tam, gdzie uzyskana dokładność pomiaru poziomu o wartości 6,7% zakresu maksymalnego jest wystarczająca. Zaletą omawianego przetwornika poziomu jest auto-diagnostyka sygnałów z sąd czujnikowych poziomu, pozwalająca na niezależne zasygnalizowanie stanów awaryjnych (HZer, Błąd), choć jak wspomniano wyżej, stany te można uzyskać ze samego sygnału PWM.

## Bibliografia

- [1] Praca zbiorowa pod red. J. Piotrowskiego: Pomiary. Czujniki pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego. WNT , 2009
- [2] Strona internetowa: [www.atmel.com](http://www.atmel.com)
- [3] Strona internetowa: [www.mpl.com](http://www.mpl.com)
- [4] Baranowski R.: Mikrokontrolery AVR Atmega w praktyce. BTC Warszawa 2005