

Jan SZUKALSKI

Katedra Podstaw Techniki SGGW

Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej PW

Department of Fundamental Technical Sciences

Krzysztof KULICKI

COBRABiD-AQUA

Automatyczna stacja głębokiego oczyszczania wody **Automatical station for water deep purification**

Wstęp

W poprzednich publikacjach omówiono koncepcje, podstawowe procesy i rozwiązania układów oczyszczających wodę (Szukalski i Kulicki 1997) oraz rezultaty prac badawczo-rozwojowych (Szukalski i Kulicki 1997a). Omówiono też budowę oczyszczalników, problemy i rezultaty realizacji technicznej rozwiązań (Szukalski i Kulicki 1997b) oraz badania systemów.

Badania te pozwoliły na wykonanie stacji do głębokiego oczyszczania wody o wymaganych zasadniczych parametrach: wydajność do 50 dm³/h, oporność właściwa wody – 16 MΩ/cm; przewodność właściwa 0,062 μS/cm, zabezpieczenie stanowisk poboru przed zanieczyszczeniem bakteryjnym lub cząstkami powyżej 0,2 μm oraz dostarczanie wody do stanowiska poboru przez układ recyrkulacyjny długości ok. 120 m, przy ciśnieniu w punktach poboru ok. 0,05 MPa.

Budowa stacji oczyszczania wody

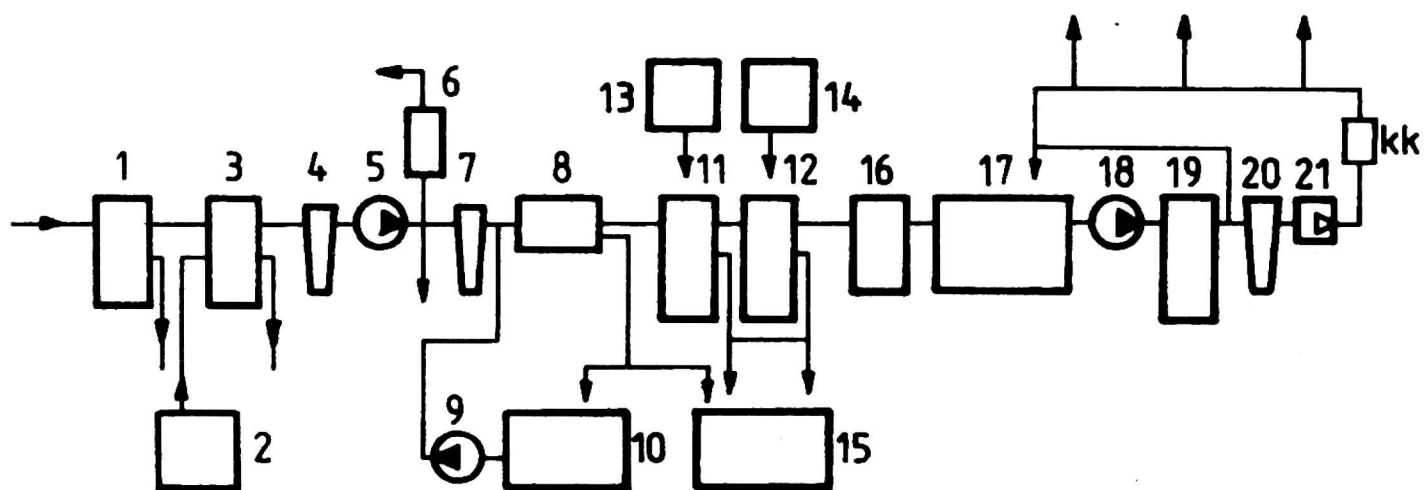
Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy stacji. Stacja składa się z trzech niezależnych zespołów połączonych szeregowo. Są to:

1. Zespół wstępnego uzdatniania wody.
2. Zespół odwróconej osmozy, połączony z dejonizacją wody (układ kationit-anionit i następnie złożo mieszane).
3. System recyrkulacji wody zawierający stopień doczyszczania wody.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat stacji.

Zespół wstępnego uzdatniania wody

Zadaniem zespołu jest uzdatnianie wody następnie kierowanej do dalszych stopni oczyszczania. Składa się z następujących podzespołów:



Rys. 1. Schemat blokowy stacji oczyszczania wody: 1 – odżelaziacz, 2 – zbiornik na solankę, 3 – zmiękczac, 4 – filtr węglowy, 5 – pompa wysokiego ciśnienia, 6 – zbiornik wyrównawczy, 7 – filtr mechaniczny, 8 – zestaw permeatorów, 9 – pompa regenerująca osmozy, 10 – zbiornik regenerujący osmozy, 11 – złożo kationitowe, 12 – złożo anionitowe, 13 – zbiornik regenerujący HCl, 14 – zbiornik regenerujący NaOH, 15 – zbiornik uśredniający ściek, 16 – złożo mieszane, 17 – zbiornik cyrkulacyjny, 18 – pompa cyrkulacyjna, 19 – złożo mieszane, 20 – filtr, 21 – zawór zwrotny, KK – konduktometr
 Fig. 1. Block diagram of the water purifying station: 1 – deironer, 2 – brine reservoir, 3 – softener, 4 – carbon filter, 5 – high tension pump, 6 – levelling reservoir, 7 – mechanical filter, 8 – set of permeators, 9 – regenerating osmosis pump, 10 – regenerating osmosis reservoir, 11 – kationit ledge, 12 – anionit ledge, 13 – regenerating HCl reservoir, 14 – regenerarating NaOH reservoir, 15 – averaging sewage reservoir, 16 – mixed ledge, 17 – reservoir for circulation, 18 – circulation pump, 19 – mixed ledge, 20 – filter, 21 – check valve, 22 – flowmeter, 23 – manometers, KK – conductometers

a) odżelaziacza zawierającego substancję Filox-R, której rozwinięta powierzchnia ma dużą liczbę aktywnych centrów manganowych, wychwytyjących jony żelazowe; kolumna odżelaziacza zawiera także węgiel aktywny, który ma za zadanie zatrzymanie chloru często dozowanego do wody miejskiej w nadmiarze;

b) zmiękczacza zawierającego żywicę jonowymienną w postaci sodowej; usuwa on żelazo rozpuszczone w wodzie i twardość ogólną, co zwiększa przebieg międzyregeneracyjny pracy zespołu odwróconej osmozy;

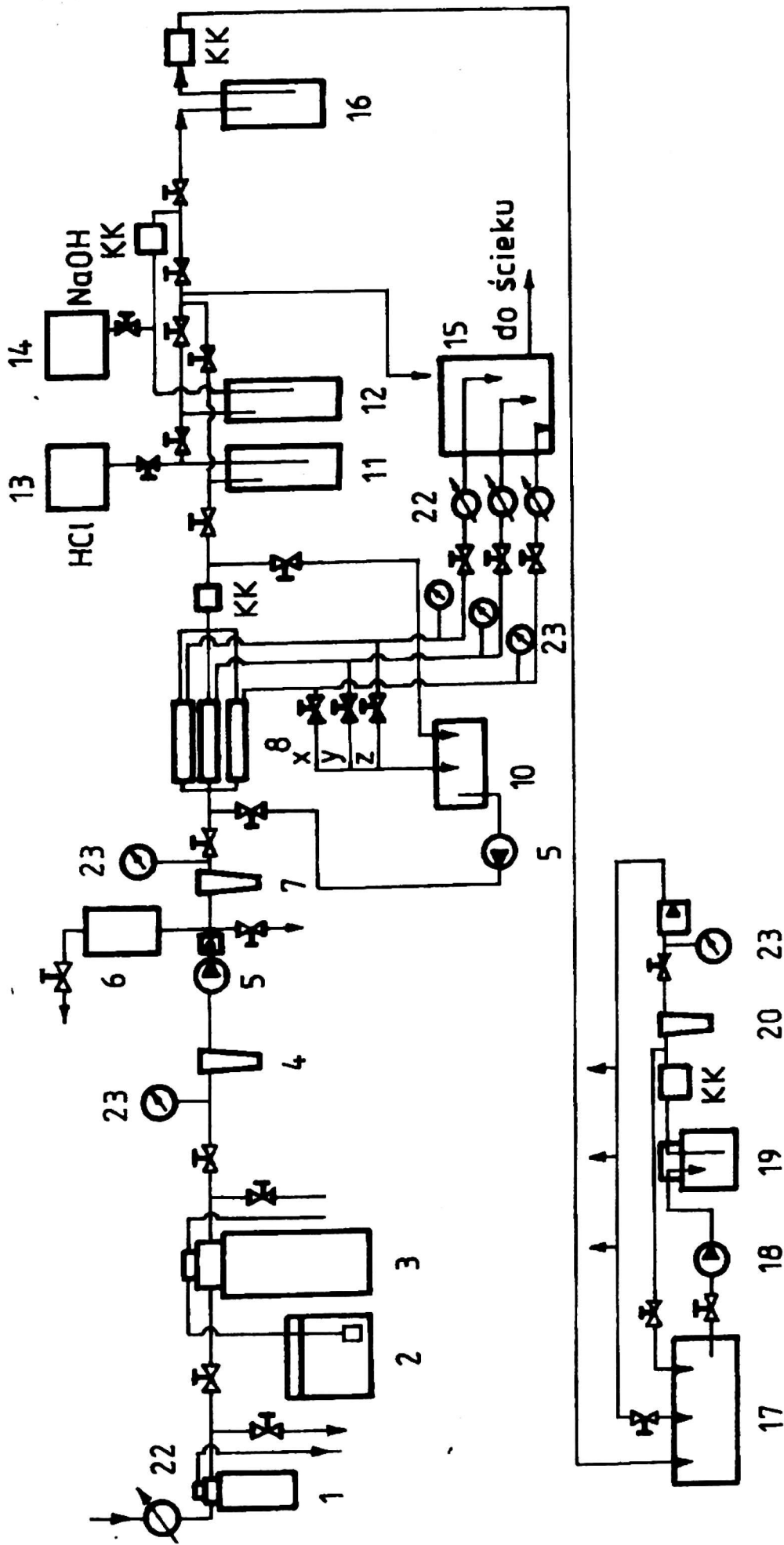
c) filtru węglowego, zawierającego wkład filtracyjny $5\mu\text{m}$ oraz węgiel aktywny; filtr ten spełnia podwójne zadanie: wychwytuje resztki chloru, które nie zostały zatrzymane w odżelaziaczu oraz kumuluje

na powierzchni filtracyjnej wszystkie cząstki materialne powyżej $5\mu\text{m}$.

Zespół odwróconej osmozy wraz z zespołem dejonizacji

Zespół odwróconej osmozy zawiera pompę wysokiego ciśnienia, zbiornik niwelujący nagły wzrost ciśnienia w momencie załączenia pompy, filtr mechaniczny o nominale $5\mu\text{m}$ i trzy moduły odwróconej osmozy (permeatory) połączone równolegle.

Woda po wstępnym uzdatnieniu doprowadzona jest do wejścia ssącego pompy wysokiego ciśnienia. Pompa ta umożliwia uzyskanie ciśnienia powyżej $0,9\text{ MPa}$, co jest podstawowym warunkiem prawidłowej pracy zespołu odwróconej osmozy. Dzięki zbiornikowi bufo-



Rys. 2. Stacja oczyszczania wody: 1 – odzależniacz, 2 – zbiornik na solankę, 3 – zmiękcacz, 4 – filtr węglowy, 5 – pompa wysokiego ciśnienia, 6 – zbiornik wyrównawczy, 7 – filtr mechaniczny, 8 – zestaw permeatorów, 9 – pompa regenerująca osmozy, 10 – zbiornik regenerujący osmozy, 11 – złożo kationitowe, 12 – złożo anionitowe, 13 – zbiornik regenerujący HCl, 14 – zbiornik regenerujący NaOH, 15 – zbiornik uśredniający ściek, 16 – złożo art mieszane, 17 – zbiornik cyrkulacyjny, 18 – pompa cyrkulacyjna (P2), 19 – złożo mieszane, 20 – filtr absolutny 0,2 μm, 21 – zawór zwrotny, 22 – przepływomierz, 23 – manometry

Fig. 2. Water purifying station: 1 – deironer, 2 – brine reservoir, 3 – softener, 4 – carbon filter, 5 – high tension pump, 6 – levelling reservoir, 7 – mechanical filter, 8 – permeators set, 9 – regenerating osmosis pump, 10 – regenerating osmosis reservoir, 11 – kationit ledge, 12 – anionit ledge, 13 – regenerating HCl reservoir, 14 – regenerating NaOH reservoir, 15 – averaging sewage reservoir, 16 – mixed ledge, 17 – reservoir for circulation, 18 – circulation pump (P2), 19 – mixed bed, 20 – absolute filter, 21 – check valve, 22 – flowmeter, 23 – manometers

rowemu, duży skok ciśnienia przy wyłączeniu pomp jest rozłożony w czasie i nie powoduje uszkodzenia membran permeatorów.

Między pompą a zespołem odwróconej osmozy umieszczony jest filtr mechaniczny o nominale $5\mu\text{m}$. Ma on na celu zatrzymanie cząstek materialnych i stanowi niezbędne zabezpieczenie zespołu odwróconej osmozy przed zapchaniem.

Kolejnym elementem jest zespół permeatorów. Przy prawidłowo ustawionym odrzucie daje on wodę o przewodności właściwej od 20 do $40\ \mu\text{S}/\text{cm}$, przy zasilaniu wodą miejską mającą przewodność właściwą ok. $1200\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Woda z zespołu odwróconej osmozy jest podana na I stopień dejonizacji, czyli na zestaw składający się z połączonych szeregowo kolumn kationitowej i anionitowej. Woda oczyszczająca ten stopień dejonizacji (I) powinna mieć przewodność do $5\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Trafia ona następnie do kolumny zawierającej złożę mieszane składające się z kationitu i anionitu. Woda na wyjściu ze złoża mieszanego (II stopnia dejonizacji) ma przewodność poniżej $0,1\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

Zespół recyrkulacyjny z doczyszczaniem wody

Zespół składa się ze zbiornika pośredniego, pompy cyrkulacyjnej, kolumny ze złożem mieszanym doczyszczającym i filtru końcowego o nominale $0,2\ \mu\text{m}$.

Układ ten przeznaczony jest do zasilania sieci dystrybucyjnej długości około 120 m (wraz z powrotem) i o różnicy wysokości około 4 m. W wykonanej sieci (w Przemysłowym Centrum Optyki) przewidziano cztery punkty poboru. Zastosowano pompę cyrkulacyjną o wydaj-

ności i wysokości podnoszenia zapewniającej odpowiednie nadciśnienie (przynajmniej $0,05\ \text{MPa}$) w punktach poboru i szybkość liniową obiegu wody w sieci (około $2\ \text{m/s}$).

Układ zasilania i sterowania pracą stacji

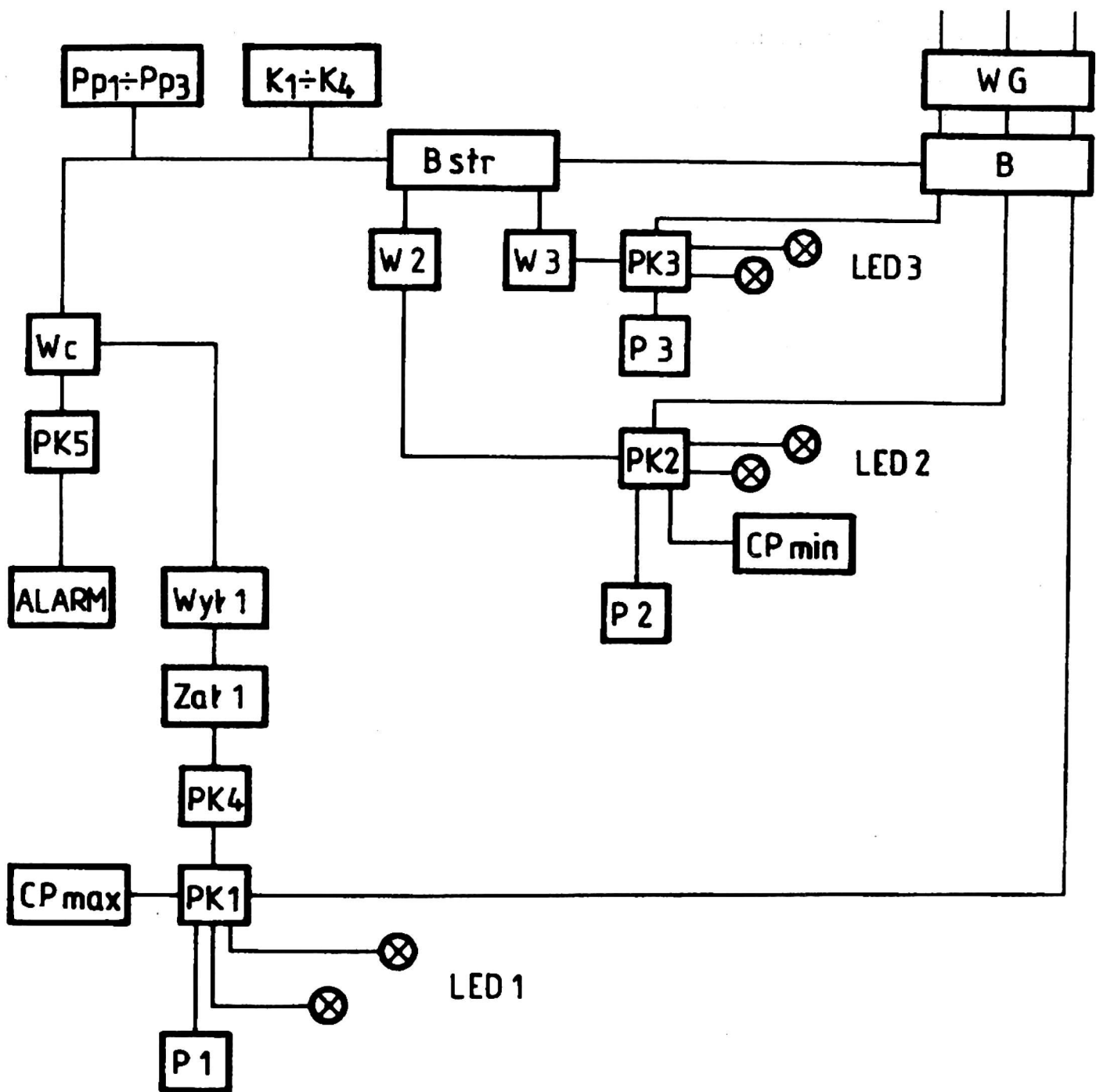
Na rys. 3. przedstawiono blokowy schemat układu elektrycznego stacji.

Po włączeniu głównego wyłącznika WG włącza się główny układ szafki sterowniczej, z tym że dopiero, jeśli ciśnienie wody w sieci wodnej przekracza założony poziom minimalny ciśnienia (około $0,15\ \text{MPa}$), załącza się pompa ciśnieniowa P1. Pompa układu cyrkulacji P2 może natomiast funkcjonować niezależnie od ciśnienia wody w sieci zasilającej.

Gdy ciśnienie w sieci będzie zbyt niskie, pompa P1 wyłączy się i automatycznie włączy się dzwonek alarmowy. Pompy P1 i P2 są ponadto sterowane czujnikami poziomów w zbiorniku: pompa P1 wyłączy się przy przekroczeniu poziomu maksymalnego, pompa P2 wyłączy się przy obniżeniu się poziomu poniżej założonego minimum. Pompę P3 włącza się i wyłączy osobnym wyłącznikiem.

Układ elektryczny zasila ponadto cztery konduktometry K_1-K_4 i mierniki przepływów ($P_{p1}-P_{p3}$), zainstalowane na odrzutach z permeatorów. Odczyt wskazań mierników przepływu pozwala na ustawienie zaworami żądanej wielkości odrzutów.

Praca stacji przebiega półautomatycznie, gdyż konieczne jest ręczne otwieranie/zamykanie zaworu w trakcie pracy.



Rys. 3. Blokowy schemat układu zasilania i sterowania pracą stacji: WG – główny wyłącznik, B – bezpieczniki zasilania, Bstr – bezpieczniki sterowania, Wc – włącznik ciśnienia, PK1, PK2, PK3, PK4, PK5 – przekaźniki, K₁–K₄ – konduktometry, W2, W3 – wyłączniki, Wył1, Zał1 – przełączniki niestabilne, P1–P3 – pompy, P_{p1}–P_{p3} – przepływomierze, LED1, LED2, LED3 – sygnalizacje stanów pracy/wyłączenia, CP min, CP max – czujniki poziomów: minimalnego i maksymalnego

Fig. 3. Block diagram of the supply and control set: WG – main switch, B – fuses of supply, Bstr – fuses of control, Wc – tension switch, PK1–PK5 – transmitters, K₁–K₄ – conductometers, W2, W3 – circuit breakers, Wył1, Zał1 – nonstable switches, P1–P3 – pumps, P_{p1}–P_{p3} – flowmeters, LED1, LED2, LED3 – signalisation of work (on/off), CP min, CP max – level detectors

Regeneracja złóż

W układzie przewidziana jest okresowa ręczna regeneracja odżelaziacza przez przepłukiwanie zwrotne i regeneracja zmiękczacza solanką. Regeneracja permeatorów roztworem czyszczącym przeprowadzana jest co około 6 miesięcy. Regeneracja wsadów kolumn jonitowych: kationitu i anionitu – roztworami HCl i NaOH, po wyczerpaniu się jonitów. Regeneracja tych kolumn przebiega w układzie, natomiast regeneracja kolumn ze złożem mieszanym – poza układem,

na osobnym stanowisku. Układy filtracyjne są wymienne.

Badania eksploatacyjne funkcjonowania stacji

W tabeli zebrano reprezentatywne wyniki badań wykonanych podczas eksploatacji stacji. Należy zwrócić uwagę, że ze zbiornika (o objętości 1 m³) w układzie recyrkulacyjnym możliwy jest pobór ok. 200 dm³/h. W ciągu dwuletniej eksploatacji stwierdzono prawidłowość funkcjonowania stacji i spełnianie przez nią założeń jakościowych wody.

TABELA 1. Wyniki badań eksploatacyjnych stacji
TABLE 1. Exploitation results

Podzespół Zespół	Przewodność właściwa Conductivity [$\mu\text{S}/\text{cm}$]		Odrzut Sewage [dm ³ /h]	Wydajność Efficiency [dm ³ /h]
	wody wejściowej input water	wody oczyszczonej output purifying water		
Odwrócona osmoza Reverse osmosis	ok. 1200	50 32 30	260 275 275	60 55 55
Dejonizacja na złożu rozdzielonym - stopień I Dejonisation on separated bed	30	do 5 ^a		55
Dejonizacja na złożu mieszanym – stopień II Dejonisation on mixed bed – II step	do 5	do 0,1 ^a		50
Recyrkulacja Recirculation	do 0,1	do 0,062 (16–16,3 M Ω /cm)		50 ^b

a – istnieje możliwość poboru wody zarówno po I jak i po II stopniu dejonizacji,
there is possibility to consume water after I and II step of deionisation as well,

b – średnia wydajność stacji: 50 dm³/h; maksymalny pobór wody ze zbiornika 200 dm³/h
average efficiency of the station: 50 dm³/h, maximum consumption of water from reservoir 200 dm³/h.

Literatura

- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997: *Podstawowe procesy i rozwiązania oczyszczania wody do celów technologicznych*. Przegł. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13, Wydaw. SGGW Warszawa, s. 23–34.
- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997a: *Rezultaty prac badawczo-rozwojowych nad oczyszczalnikami wody do celów technologicznych*. Przegł. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13, Wydaw. SGGW, Warszawa, s. 35–44
- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997b: *Budowa oczyszczalników o wydajności do 5m³/dobę, przeznaczonych do celów technologicznych oraz problemy i rezultaty realizacji technicznej rozwiązań*. Przegł. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13, Wydaw. SGGW, Warszawa, s. 45–52.

Summary

Automatical station for deep purification of water. In the article the function of the Station for water deep purifying is presented. The station was built to the purposes of optoelectrical plants for supply stands manufacturing high performed optoelectrical elements. The Station contains some sets like prepurifying, reversal osmosis, deionisation and getting water thoroughly pure in the recirculation circuit covering 120 m pie supplying protection stands. The main parameters of the Station: efficiency up to 70 dm³/h, conductivity up to 0,062 μs/cm.

Authors' address:

J. Szukalski
Warsaw Agricultural University SGGW
02–528 Warszawa
ul. Rakowiecka 26/30
K. Kulicki
COBRABID-AQUA
02–8342 Warszawa
ul. Łucka 13