

**Jan SZUKALSKI**

Katedra Podstaw Techniki SGGW

Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej PW

**Krzysztof KULICKI**

COBRABID-AQUA

## **Budowa oczyszczalników o wydajności do 5 m<sup>3</sup>/dobę przeznaczonych do celów technologicznych oraz problemy i rezultaty realizacji technicznej rozwiązań**

### **Wstęp**

Przedmiotem pracy było zapewnienie technicznych warunków wytwarzania podstawowych systemów i rozwiązań (Oczyszczalniki wody o wyd. 3–5 m<sup>3</sup>/dobę ..., 1995) urządzeń do oczyszczania wody. Prace ukierunkowano przede wszystkim na to, aby zapewnić warunki wytwarzania węzłów oczyszczania wstępnego, odwróconej osmozy, dejonizacji z recyrkulacją i na rozpoczęcie ich wytwarzania oraz wykonywanie kompletnych oczyszczalników wody, jako elastycznych pod względem technologicznym zestawów, bazujących na tych węzłach.

Omówione rezultaty były przedmiotem prac wdrożeniowych.

### **Prace przygotowawcze**

W ramach technologicznych prac przygotowawczych wykonano projekty

oraz dokumentacje rozwiązań konstrukcyjnych:

- podstawowych zespołów węzłów oczyszczania wstępnego,
- obudów modułów odwróconej osmozy oraz połączeń hydraulicznych,
- mierników konduktometrycznych,
- układu dejonizacji wraz z recyrkulacją,
- typowego stelażu – elementów nośnych.

Przy pracach wykorzystano, w miarę możliwości, typowe elementy konstrukcyjne, co uprościło wykonawstwo, montaż i instalowanie. Obniżyło także koszt instalacji.

**Zespół węzła oczyszczania wstępnego.** W wyniku prac badawczo-rozwojowych (Szukalski, Kulicki 1997a) nad budową oczyszczalników opracowano dokumentacje elementów zespołu filtru wstępnego, odżelaziacza oraz zmiękczacza.

Przy konstrukcjach preferowano rozwiązania polegające na wykorzystaniu w kolumnie filtru wstępnego węgla aktywnego oraz substancji odżelaziającej, dzięki czemu filtracja wstępna usuwa z wody chlor, związki organiczne i jednocześnie żelazo (Oczyszczalniki wody ..., 1995). Dzięki temu w sytuacji korzystnej można uniknąć osobnego odżelaziacza.

**Zespół obudów modułów odwróconej osmozy oraz połączenia hydrauliczne.** W pracy między innymi:

- zweryfikowano metody uszczelniania modułów w obudowach i obudów na ciśnienie 1,0 oraz około 1,6 MPa, przy czym ciśnienie 1,0 MPa stanowi wielkość graniczną ze względu na dostępność krajowych rur testowanych na to ciśnienie robocze,
- opracowano sposób łączenia armatury z rur sztywnych (PCV-U) węzami giętkimi (PCV), produkcji UNO SVEDBERG PLASTAB. Połączenia są odporne na ciśnienie do 1,0 MPa,
- opracowano sposób łączenia armatury z rur sztywnych (PVC) przez dwuzłączki z siecią pozostałej sztywnej armatury. Pozwala to na łatwe rozłączanie elementów ciągu wodnego, np. modułów odwróconej osmozy, komórek konduktometrycznych lub kolumn jonitowych.

**Mierniki konduktometryczne.** Spośród krajowych, handlowych konduktometrów nie ma urządzeń pracujących w zakresie wody najczystszej (poniżej 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) z właściwą dokładnością (około 0,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) oraz zaopatrzonych w przepływową komórkę konduktometryczną. Są w różnych ośrodkach wyko-

nywane próby opracowania konstrukcji. Z tego powodu podjęto własne prace nad wykonaniem konduktometru przepływowego przeznaczonego do zastosowania w systemie głębokiego oczyszczania wody (wraz z sygnalizacją przekroczenia poziomu przewodności) oraz konduktometru przeznaczonego do pomiaru przewodności właściwej wody po poddaniu jej oczyszczaniu metodą odwróconej osmozy.

Skale konduktometrów obejmują zakresy:

- a) 0,050–0,200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , z możliwością odczytu z dokładnością 0,005 w polu 0,050–0,080,
- b) 1,0–5,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , z możliwością odczytu z dokładnością 0,2,
- c) 30–150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Ad a) Minimalna teoretyczna przewodność wody w temperaturze 25°C wynosi 0,055  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , (18 Mom cm), z tego powodu jest to dolny poziom bazowy. Konduktometr o zakresie 0,050–0,200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  jest przeznaczony do pomiaru przewodności właściwej wody najczystszej po dejonizacji na złożu mieszanym, zwykle mającej wielkość od 0,06 do 0,07  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Reagent Grade Water). Przewodność właściwa przewyższająca tę wielkość może świadczyć o wyczerpaniu się jonitów.

Ad b) Zakres przewodności właściwej wody dejonizowanej w kolumnach na złożach rozdzielonych obejmuje zwykle obszar 1–5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : z tego względu wykonano konduktometr (Muława i zespół, Oprac i wyk. miernika konduktacji ..., 1995) o takim zakresie pomiarowym. Zakres ten także mieści się w obszarze Laboratory Grade Water. Przekroczenie

poziomu 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  może wskazywać na wyczerpanie się złoża rozdzielonego i konieczność regeneracji.

Ad c) Woda oczyszczona w pojedynczym stopniu odwróconej osmozy ma zwykle przewodność właściwą powyżej 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , z tym że wraz z czasem eksploatacji wielkość ta się podwyższa, czasem nawet do 100, co wówczas może świadczyć o uszkodzeniu modułu np. chlorem, który przebił filtry wstępne.

Konduktometr o wymienionym zakresie mierzący wodę po jednym stopniu odwróconej osmozy wykazywać więc może stan modułu, w tym konieczność regeneracji lub jego wymiany.

#### **Układ dejonizacji z recyrkulacją.**

Jak przedstawiono w pracy omawiającej rezultaty badań nad oczyszczalnikami wody (Szukalski, Kulicki 1997a), węzeł dejonizacji i recyrkulacji w urządzeniu do oczyszczania wody umownie podzielono na trzy zespoły połączone szeregowo:

- dejonizacji na kolumnach jonitowych ze złożem rozdzielonym: kationitowej i anionowej (złoża regenerowalne w systemie urządzenia), zasilanych wodą bezpośrednio z modułu odwróconej osmozy,
- dejonizacji na kolumnie ze złożem mieszanym (wymiennej, regenerowalnej poza systemem),
- zbiornika wody czystej,
- pompy i kolumny ze złożem mieszanym w układzie recyrkulacyjnym.

Z przyczyn technologicznych (Opracowanie i wykonanie miernika konduktacji ..., 1995; Szukalski, Kulicki 1997) poza szczególnymi przypadkami zrezyg-

nowano z zastosowania kolumn jonitowych ze złożem rozdzielonym. Zaprojektowano konstrukcje kolumn ze złożem mieszanym, w tym: korpusu kolumny produkcji krajowej i dystrybutorów (górnego i dolnego).

Zaprojektowano układ recyrkulacji jako zbiornik wody czystej, zastosowano zbiornik polietylenowy z pojemnościowymi czujnikami poziomów, zabezpieczającymi go przed przepełnieniem dzięki automatycznemu wyłączaniu pompy ciśnieniowej. Czujnik poziomu minimalnego wyłącza pompę obiegów recyrkulacyjnych z jednoczesnym włączeniem alarmu.

Opracowano konstrukcję filtra zabezpieczając zbiornik przed dostępem pyłów i dwutlenku węgla z powietrza.

W układzie recyrkulacyjnym znajduje się ponadto kolumna z mieszanym złożem jonitowym (doczyszczającym), pompa wymuszająca obieg oraz filtr dokładny, dobrany w zależności od potrzeb, o absolutnym stopniu zatrzymywania, zazwyczaj 1,0  $\mu\text{m}$  lub 0,2  $\mu\text{m}$ .

**Stelaż.** Opracowano i wykonano dokumentację stelaża o konstrukcji pozwalającej na łatwe do przeprowadzenia modyfikacje. Opracowano dokumentacje i wykorzystano je do budowy trzech podstawowych typów oczyszczalników (Oczyszczalniki wody o wyd 3–5  $\text{m}^3/\text{dobę}$  ..., 1995; Szukalski, Kulicki 1997a), wykonano typową obudowę do urządzeń przeznaczonych do celów specjalistycznych, np. w zakładach farmaceutycznych i szpitalach.

**Podsumowanie prac przygotowawczych.** W ramach prac dotyczących zespołu węzła oczyszczania wstępnego i stelaża wykonano:

- projekty węzłów; koncepcyjne i techniczne,
- odpowiednio dobrane podzespoły i elementy składowe węzłów,
- dokumentację warsztatową,
- konstrukcję poszczególnych węzłów i stelaży.

## Uruchomienie wytwarzania serii informacyjnej

**Baza wytwórcza i kontrolna.** Przygotowano bazę wytwórczą dla serii informacyjnej, przeznaczonej do montażu: stelaży, węzłów oczyszczania wstępnego, węzła odwróconej osmozy, układów zasilania, kontroli i sterowania elektrycznego, układów pompowych-ciśnieniowych i recyrkulacyjnych.

Należy zwrócić uwagę na celowe ograniczenie bazy wytwórczej do montażu, gdyż ze względu na racjonalizację produkcji wytwarzanie poszczególnych elementów powierzono jednostkom gospodarczym, w tym wyspecjalizowanym. Tym znaczniejsza rola przypadła stanowiskom kontroli oraz aparaturze badania jakości wody oczyszczonej (produktu).

**Stanowiska kontroli technicznej i jakościowej.** W ramach zadania określono w systemach oczyszczania punkty podlegające kontroli, w tym:

- dla pomp – charakterystyki ciśnieniowo-wydajnościowe,

- dla filtrów wymiennych – sprawdzenie charakterystyk wydajnościowych przynajmniej w jednym punkcie lub z braku charakterystyk, sprawdzenie wydajności przy ciśnieniu poniżej 1,0 MPa,
- dla bloku odwróconej osmozy – wydajność przy ciśnieniu normalnym oraz przewodność produktu przy założonym odrzucie wody (3x przekraczającym wydajność produktu w systemie jednomodułowym),
- dla pierwszego bloku dejonizacji: uzyskiwanie założonej przewodności (poniżej 0,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) przy nominalnym przepływie,
- dla drugiego bloku dejonizacji i recyrkulacji: uzyskiwanie przewodności poniżej 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

W stanowiskach tych weryfikowano pracę w szczególności:

- a) węzła oczyszczania wstępnego,
- b) węzła odwróconej osmozy,
- c) węzła dejonizacji na złożu rozdzielonym i mieszanym,
- d) układu recyrkulacji w małej pętli,
- e) pracy kompletnych systemów typu I, II i III, w układzie typu I – z recyrkulacją w dużej pętli,
- f) współpracy kompletnych systemów z układu automatyki i kontroli czystości uzyskiwanej wody.

Weryfikacja polegała na:

- zgodności wyrobu z dokumentacją, z uzasadnieniem ewentualnych odstępstw,
- porównaniu uzyskanej wydajności produktu z wydajnością założoną lub określeniu warunków uzyskiwania założonej wydajności według wymagań potencjalnych odbiorców,

- porównaniu uzyskanej czystości produktu z czystością założoną.

Badania te przeprowadzono na zgodność z wymaganiami technicznymi poszczególnych węzłów oraz systemów kompletnych.

**Aparatura kontrolna.** W ramach zadania wykonano konduktometry precyzyjne oraz uproszczone, mające charakter wskaźników, przydatne szczególnie w obszarach przewodności właściwej nie wymagających najwyższej precyzji, np. jako wskaźniki wyczerpania jonitów w tych stopniach oczyszczania, które są stopniami wstępnymi (odwrócona osmoza, dejonizacja z wyłączeniem układu recyrkulacji). Konduktometry te mają możliwość ustawiania poziomu włączenia alarmu. Konduktometry wskaźnikowe są niekosztowne i łatwe do zastosowania w odpowiednich punktach systemu.

Opracowano standardowe komórki konduktometryczne przepływowe, dostosowane do wyżej wymienionych konduktometrów, pracujące przy ciśnieniu powyżej 1,0 MPa.

Wykonano ponadto mechaniczno-elektroniczne mierniki natężenia przepływu, przeznaczone głównie do ciągłego pomiaru wielkości odrzutu wody z modułów. Są one o wiele wygodniejsze w zastosowaniu i mniej kosztowne od rotametrów.

## Wykonanie serii informacyjnej

Jak wcześniej wspomniano urządzenia do oczyszczania wody są zaprojektowane w taki sposób, aby konstrukcja od-

powiedniego urządzenia mogła być komponowana z poszczególnych węzłów w sposób elastyczny: jednak niektóre węzły – szczególnie do uzdatniania wstępnego – mogą być stosowane samodzielnie. Takie podejście wynika bezpośrednio z różnorodności parametrów urządzeń, wymaganych przez użytkowników w zapytaniach ofertowych. Z analizy rynku wynikało więc przede wszystkim zapotrzebowanie na bardzo zróżnicowane urządzenia pod względem czystości wody, nie ograniczającej się do zakresu od poniżej 0,1 do 5–10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dla poszczególnych typów (I, II i III), ale obejmujące też np. tylko oczyszczanie wstępne. Zapotrzebowanie dotyczyło też urządzeń o bardzo zróżnicowanych warunkach wydajnościowych, od bardzo niskich do znacznie przewyższających założone w pracy.

Narzucało to konieczność bardziej elastycznego potraktowania konstrukcji systemów i wykonania ich w formie bloków mogących pełnić role samodzielnie:

- oczyszczania wstępnego,
- oczyszczania wstępnego i zmiękczenia,
- odwróconej osmozy jednomodułowej lub wielomodułowej,
- odwróconej osmozy w systemie dwustopniowym,
- dejonizacji na złożu mieszanym i dejonizacji na złożu mieszanym z recyrkulacją – po rezygnacji ze złożów rozdzielonych, co jest zresztą zgodne z najnowszymi tendencjami światowymi.

Tendencje te są jednoznaczne: preferują wymiennosc bloków i ich regenerację przez serwis producenta. W naszym

przypadku, dzięki opanowaniu metody rozdziału i regeneracji jonitów, racjonalne jest oferowanie oczyszczalników ze złożem mieszanym, po wysyceniu regenerowanych u producenta w ramach serwisu. Podobna sytuacja dotyczy regeneracji modułów odwróconej osmozy, z tym że zamiast stałej instalacji regenerującej oferuje się nie regenerację w instalacji, lecz przez zestaw regeneracyjny obsługiwany przez serwis producenta.

Rozpoczęto więc wytwarzanie bloków przeznaczonych do pracy samodzielnej lub montażu w układy typu I, II i III:

- bloki odchlorowywania, usuwania związków organicznych i odżelaziania, do zastosowania także do celów komunalnych,
- bloki odchlorowywania z usuwaniem związków organicznych, odżelazianiem i zmiękczeniem, przeznaczone do celów technologicznych,
- bloki odwróconej osmozy (2 wersje) z układem pompowym i filtracji poprzedzającymi moduły odwróconej osmozy z opcjami:

a) dostosowanymi do niskociśnieniowej pracy wydajnych modułów typu BW30-345,

b) dostosowanymi do uproszczonego systemu oczyszczania – filtru mechaniczno-węglowego oraz do zasilania bezpośrednio z pompy ssąco-tłoczącej.

Urządzenia te dostarczają wodę przeznaczoną do wykorzystania w małych zakładach spożywczych lub kosmetycznych. Serwis urządzeń prowadzi producent w zakresie bloków dejonizacji z kolumnami ze złożem mieszanym oraz z bloków dejonizacji z recyrkulacją.

Bloki odwróconej osmozy i dejonizacji są wyposażone w konduktometry wskaźnikowo-alarmowe według potrzeb odbiorców. Jako opcje przewidziane są zbiorniki z systemami kontroli poziomu wody oraz systemami automatyki pracy pomp, zabezpieczającymi przed przepełnieniem zbiorników lub przed pracą pomp „na sucho”.

Na rysunkach 1–4 przedstawiono niektóre typowe układy i bloki.

## Podsumowanie

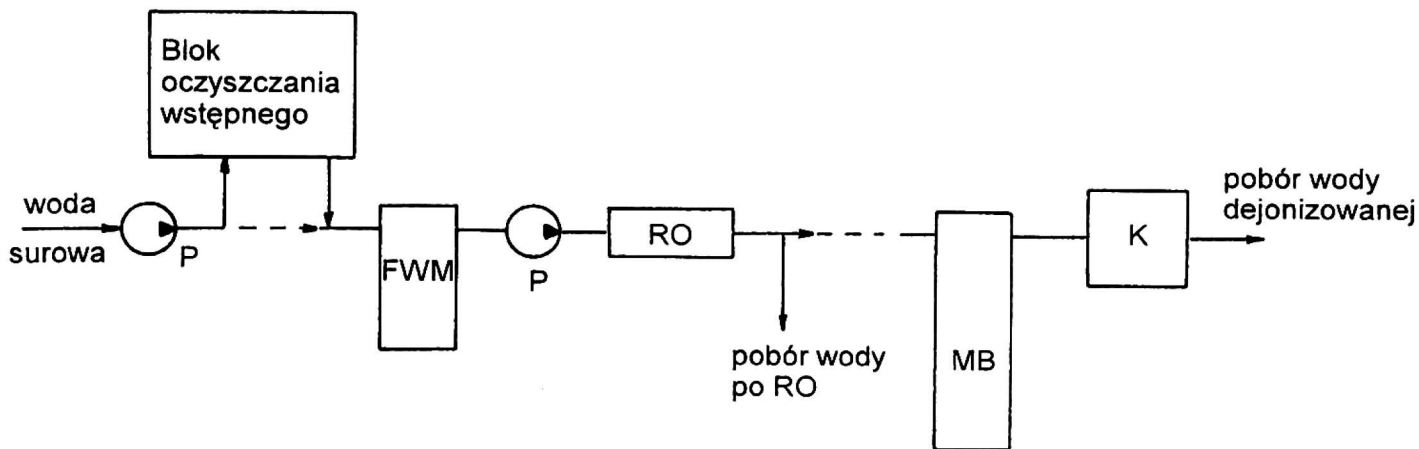
W ramach uruchomienia wytwarzania serii informacyjnej wykonano:

1. Aparat C-ARO, urządzenie najwyższej klasy gwarantujące oczyszczanie wody do przewodności właściwej 0,06 S/cm, zainstalowany i eksploatowany w Przemysłowym Centrum Optyki,

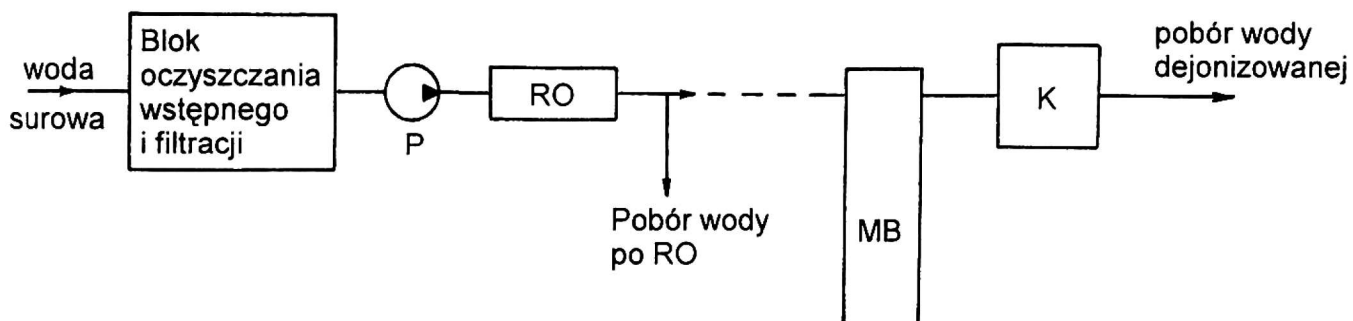
2. Aparaty C-ARO 1, 2, 3, 4, 5 i 6 wykonane według opisanych (Oczyszczalnik wody ..., 1995; Oprac. i wyk. miernik ..., 1995; Szukalski, Kulicki 1997) rozwiązań,

3. Uruchomiono w Complex Ltd. stację głębokiego oczyszczania wody w systemie recyrkulacyjnym, oczyszczającą wodę do przewodności właściwej 0,06  $\mu$ S/cm. Woda przeznaczona jest do użytku powszechnego. Stacja bazuje na aparacie C-ARO 1.

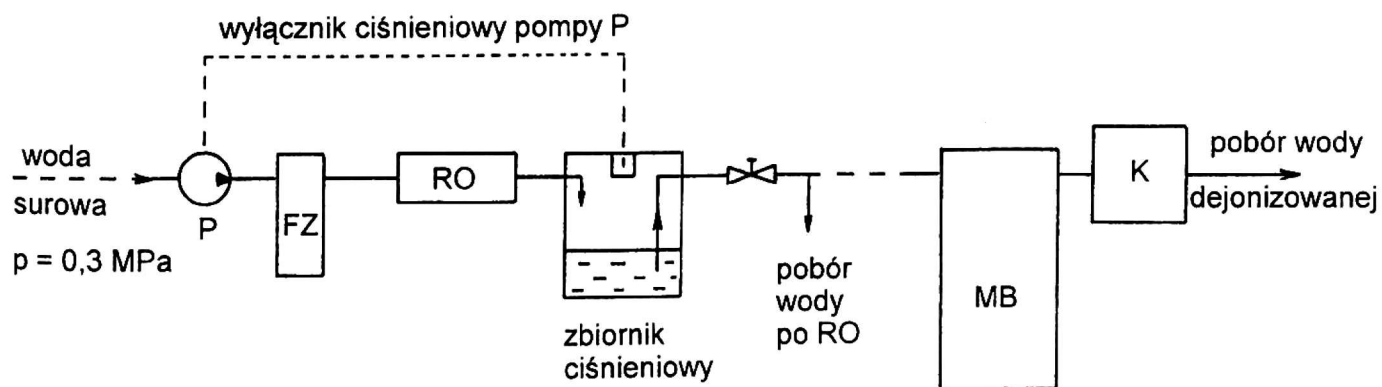
Uruchomiono zatem serię informacyjną 10 systemów. W odrębnym artykule będzie przedstawiony szczegółowo jeden z systemów – najbardziej reprezentatywny.



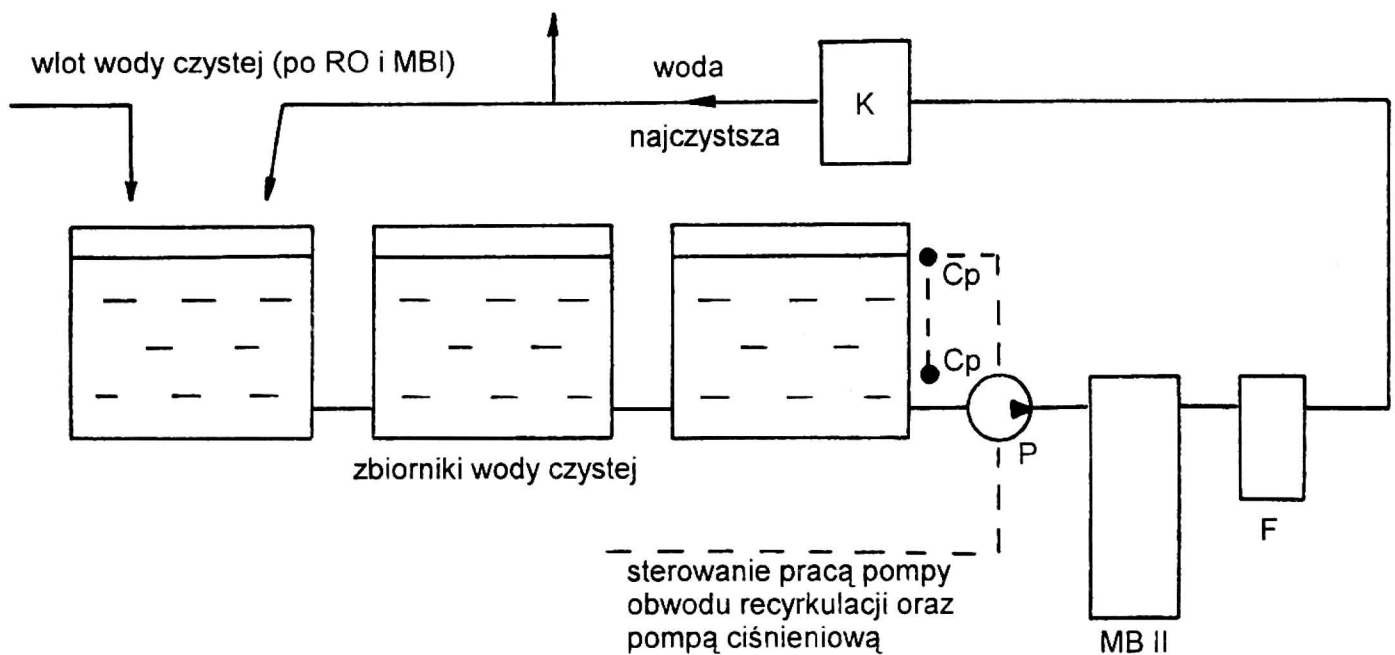
RYSUNEK 1. Schemat uniwersalnego układu do oczyszczania wody pochodzącej ze źródła bezciśnieniowego: P – pompa, FWM – filtr węglowo-mechaniczny, MB – kolumna dejonizująca ze złożem m



RYSUNEK 2. Schemat uniwersalnego układu do oczyszczania wody pochodzącej ze źródła ciśnieniowego: P – pompa, RO – blok odwróconej osmozy, MB – kolumna ze złożem mieszanym, K – konduktometr



RYSUNEK 3. Schemat oczyszczalnika wody z możliwością wykorzystania ciśnieniowego zbiornika pośredniego: P – pompa, FZ – filtr zabezpieczający, RO – blok odwróconej osmozy, MB – kolumna dejonizująca ze złożem mieszanym, K – konduktometr



RYSUNEK 4. Schemat bloku recyrkulacji wody poprzez złoże mieszane o wydajności  $40 \text{ dm}^3/\text{minutę}$  ( $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Oczyszczanie wody do celów technicznych: K – konduktometr, MB II – złoże mieszane doczyszczające, F – filtr dokładny, Cp – czujniki poziomu (max i min)

## Literatura

- Oczyszczalniki wody o wydajności  $3\text{--}5 \text{ m}^3/\text{dobę}$  przeznaczone do celów technologicznych. 1995. Raport końcowy projektu celowego 77613 4/C 1816. Complex Ltd. (arch.)
- Opracowanie i wykonanie miernika konduktancji w trzech wersjach:  $0,05\text{--}0,20 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $1\text{--}5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $30\text{--}150 \mu\text{S}/\text{cm}$ . [W] Mulawa i zespół (nie publikowana) Complex Ltd. (arch.).
- SZUKALSKI J., KULICKI K., 1997: Podstawowe procesy i rozwiązania oczyszczania wody do celów technologicznych. Złożono do druku w Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13.
- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997a: Rezultaty prac badawczo-rozwojowych nad oczyszczalniami wody do celów technologicznych. Złożono do druku w Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13.

## Summary

**Purifiers with efficiency up to  $5 \text{ m}^3/24\text{h}$  building, problems and results of realisation technical solutions.** In the work technical solutions of process of production water purifiers are presented. Mainly due to blocks: prepurifiers, reversal osmosis, deionisations covering recirculation.

Discussed the application of measuring methods, technical and quality control stands, and the results of manufacturing prototypes as well. Discussed preparation to take up the short series production standards group of purifiers of different deep purity.

Authors' address

J. Szukalski

Warsaw Agricultural University – SGGW

02–528 Warszawa

ul. Rakowiecka 26/30

Poland

K. Kulicki

COBRABID – AQUA

Warszawa ul. Łucka 13