

Jerzy Maloszczyk
Stanisław Romaniszyn

WARUNKI EKSPLOATACYJNE WODOCIĄGU SULEJÓW—ŁÓDŹ

Położenie topograficzne Łodzi jest niedogodne dla projektowania inwestycji wodociągowych. Miasto leży na wysokości 160—250 m n.p.m., na dwóch wododziałach — Wisły i Odry.

W latach 1902—1909 znany angielski inżynier W. H. Lindley w wyniku gruntownych studiów doszedł do przekonania, że jako ujęcia wody dla Łodzi nadają się:

- wodonośne warstwy formacji kredowych górnej jury z rejonu powyżej Tomaszowa—Sulejowa, jak również wody wgłębne z okolic Łodzi,
- zasoby wód powierzchniowych Pilicy.

W latach trzydziestych realizowano wodociągi oparte na ujęciu wód wgłębnych, w oparciu o projekt prof. Rosłowskiego. Ujmowano wody z warstw wodonośnych dolnej i górnej kredy, z czwartorzędu, jak również wody jurajskie z rejonów południowo-zachodnich Łodzi.

jów — Łódź (etap I o zdolności produkcyjnej 250 tys. m³/d), w oparciu o wybudowany również w tym okresie zbiornik sulejowski o pojemności użytkowej 75 mln m³. Zbiornik ten, wybudowany w ciągu 4,5 roku, sprawił, że drugie co do wielkości miasto w Polsce nie odczuwało w ciągu ostatnich lat niepokojącego braku wody.

Charakterystyka wody

Wodociąg Sulejów — Łódź projektowany był w specyficznych warunkach. Prognoza jakości wody ujmowanej oparta musiała być z konieczności o jakość wody w zbiorniku goczałkowickim na Wiśle. W związku z tym również technologia uzdatniania wody była zaprojektowana w oparciu o prognozę jakości ujmowanej wody. W tabeli 1 zestawiono zmiany w składzie wody ujmowanej (prognoza jakości wody

ZESTAWIENIE ZMIAN SKŁADU WODY W ZALEWIE SULEJOWSKIM
(wartości średnioroczne)

Tabela 1

Wskaźnik	Jednostka	Skład prognozowany		Skład w okresie dojrzewania zbiornika w 1974 r.	Skład w latach 1980—1982		
		średni	max		min.	średni	max
Temperatura	°C	7,0	25,0	—	0,1	9,6	22,9
Barwa	mg Pt/dm ³	70,0	70,0	23,0—42,0	12	30	75
Mętność	mg/dm ³	25,0	30,0	9,0—12,0	2,0	9,0	35,0
pH	—	8,0	8,0	7,65—8,0	7,2	8,0	9,2
Twardość ogólna	°tw	18,0	12,8	9,1—10,8	2,28	3,4	6,3
Zasadowość	mv/dm ³	1,3	2,5	2,2—2,9	1,3	2,5	3,3
Utlenialność	mg O ₂ /dm ³	11,0	11,0	6,1—12,6	3,2	8,4	15,0
BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	—	—	2,5—43	0,6	4,2	10,2
Fosforany	mg P ₂ O ₅ /dm ³	0,35	0,5	0,25—0,48	0,04	0,38	1,12
Żelazo ogólne	mg Fe/dm ³	—	—	—	0,04	0,11	0,25
Seston	osobn./dm ³	1500	2000	13878—20037	157	6100	39200

W 1951 r. Rząd podjął decyzję budowy wodociągu Tomaszów — Łódź, o projektowanej wydajności 129 600 m³/d, opartego na wodach powierzchniowych Pilicy. Zadanie to zrealizowano w 1963 r. Po raz drugi po zasoby Pilicy sięgnięto w 1973 r., kiedy to przekazano do użytku budowany od 1968 r. wodociąg Sule-

surowej, skład wody w okresie dojrzewania zbiornika oraz jakość wody surowej w latach 1980—1982).

W stosunku do zagwarantowanej pozwoleniem wodno-prawnym I klasy czystości wód Pilicy, obecnie aż 15 wskaźników odbiega od niej. Stałe kontrole stanu zanieczyszczenia wód powierzchniowych w zlewni Pilicy (5 tys. km²) obejmują teren województw: katowickiego, częstochowskiego, kieleckiego i piotrkowskiego.

Mgr inż. J. Maloszczyk, inż. S. Romaniszyn, Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Łódzkiego, ul. Wierzbowa 53, 92-133 Łódź

od źródeł do Tomaszowa Mazowieckiego, jak również sam zbiornik sulejowski. W zlewni tej jest zlokalizowanych 47 punktowych źródeł zanieczyszczeń przemysłowych, komunalnych i rolniczych, w tym na terenie województw: katowickiego — 2, częstochowskiego — 7, kieleckiego — 10, piotrkowskiego — 28.

Obiekty te odprowadzają w ciągu doby około 140 tys. m³ ścieków o następujących ładunkach podstawowych wskaźników zanieczyszczeń:

- BZT₅ — 6,5 tys. kg O₂/d
- utlenialność — 6,0 tys. kg O₂/d
- ChZT — 19,3 tys. kg O₂/d
- zawiesiny — 13,5 tys. kg/d.

Charakterystyka ujęcia wody w Bronisławowie

W skład urządzeń służących do ujmowania i przetłaczania wody wchodzi dwa następujące obiekty zasadnicze:

- odprowadzalnik wody ze zbiornika sulejowskiego
- przepompownia wody z komorami krat i sit.

Przesył wody wstępnie chlorowanej z Bronisławowa do SUW w Kalinku odbywa się rurociągiem tłocznym stalowym ϕ 1600 mm (wykonanym bez izolacji wewnętrznej) o długości 23,7 km oraz rurociągiem grawitacyjnym ϕ 1600 mm o długości 12,9 km. Woda uzdatniona spływa grawitacyjnie rurociągiem stalowym ϕ 2200 mm długości 6,1 km i żelbetowym o przekroju dzwonowym 2,2×2,2 m, długości 1,5 km do zbiorników wody czystej na Chojnach w Łodzi. W tabeli 2 zestawiono projektowane i uzyskane parametry pracy tych rurociągów.

Z zestawienia tego wynika, że opory hydrauliczne rurociągów przesyłowych są znacznie wyższe od projektowanych, co jest bezpośrednią przyczyną zmniejszenia się wydajności całego wodociągu. Stwierdzono, że zasadniczym powodem trudności eksploatacyjnych (związanych ze zmniejszeniem się przepustowości rurociągów) jest korozja elektrochemiczna i mikrobiologiczna ścian przewodów, której sprzyja skład fizyczno-chemiczny transportowanej wody oraz brak powłoki ochronnej. W konsekwencji zdolność produkcyjna wodociągu brutto zmalała do 203.900 m³/d.

Tabela 2
WARTOŚCI OPORÓW PRZEPŁYWU DLA RUROCIĄGÓW
 ϕ 1600 (1) i ϕ 2200 (2)

Q, m ³ /s	Opory przepływu w m H ₂ O		
	projektowane	uzyskane w 1973 r.	uzyskane w 1983 r.
(1)	1,00	2,64	2,60
	2,24	13,24	12,03
	2,48	16,22	14,75
(2)	1,00	1,40	—
	2,24	7,06	—
	2,48	8,65	—

Charakterystyka stacji uzdatniania wody

Stacja uzdatniania wody w Kalinku stanowi zespół urządzeń umożliwiających prowadzenie następujących procesów technologicznych:

- poprawę smaku i zapachu przy pomocy zawiesziny pylistego węgla aktywnego dawkowanej przed klarownikami,
- koagulację siarczanem glinowym i sedymentację zanieczyszczeń wody w klarownikach z zawieszonym osadem,
- korektę odczynu wody surowej przed klarownikami i stabilizację po klarownikach mlekiem wapiennym,
- filtrację na filtrach pospiesznych otwartych piaskowych,
- dezynfekcję końcową ozonem i chlorem.

Po chlorowaniu wstępnym, które odbywa się na ujęciu, następuje wlot wody surowej do skrzyni przelewowej, stanowiącej kanał pomiarowy w budynku magazynu koagulantu. W budynku tym rozmieszczone zostały również instalacje i urządzenia służące do magazynowania, przygotowania i dawkowania innych reagentów, stosowanych do uzdatniania wody w procesie koagulacji. Środkiem wspomagającym koagulację jest krzemionka aktywowana kwasem siarkowym, dozowana w stężeniu 0,5‰ do mieszacza w klarowniku. Przygotowanie i dojrzewanie krzemionki aktywowanej odbywa się w zbiornikach o pojemności 47 m³.

Węzły wapna i węgla aktywowanego posiadają podobny zestaw urządzeń do zarobu i dawkowania. Dostawa tych materiałów i ich magazynowanie następuje w workach po 50 kg. Do zarobu służą zbiorniki żelbetowe (po 2 szt. w każdym węźle) z mieszadłami pionowymi śmigłowymi, do których materiał wsypywany jest bezpośrednio z worków. Czas przygotowania zarobu 1 zbiornika, tj. ok. 20 m³ w obu węzłach, trwa około 4 godzin. Materiały dawkowane są w postaci zawiesziny 5‰ (wapno) i 2,5‰ (węgiel). Konsekwencją rozbieżności między prognozą jakości wody surowej a jej rzeczywistym składem jest niedobór wydajności urządzeń do przygotowania i dozowania roztworów, szczególnie siarczanu glinowego, krzemionki i wapna w niektórych okresach. Niedobór ten złagodzono modernizując częściowo wymienione węzły.

Woda ze skrzyni przelewowej doprowadzana jest oddzielnymi przewodami ϕ 800 mm do klarowników z zawieszonym osadem, w których przepływ odbywa się w sposób ciągły. Zaprojektowano je zakładając, że 2/3 ilości wody przepływa przez osad zawieszony w sposób ciągły, a pozostała część w cyklicznych odstępach czasu podnoszona jest przez kosz próżniowy, pobudzając ekspansję warstwy osadu. „Falujące” dynamiczne utrzymywanie ekspansji osadu miało przeciwdziałać tworzeniu się w nim kanalików i zapewnić jego dużą jednorodność, a tym samym podnieść ogólną sprawność klarownika. W praktyce efekty były minimalne, gdyż w klarowniku z pulsacją uzyskiwano zaledwie 1—3‰ wzrostu usuwania bar-

wy, mętności i utlenialności (i to nie we wszystkich okresach), przy czym proces bez pulsacji okazał się bardziej ekonomiczny. Charakterystyczne wielkości klarownika są następujące: objętość całkowita 3000 m³, dopuszczalna prędkość przepływu wody przez warstwę osadu zawieszonego 0,95 mm/s (latem) i 0,76 mm/s (zimą), wielkość zrzutu osadu 0,33—2,5‰ Q.

Po pierwszym stopniu oczyszczania w klarownikach z zawieszonym osadem woda kierowana jest na filtry pospieszne otwarte, składające się z komór o powierzchni jednostkowej 89 m². Wysokość złoża filtracyjnego wynosi ok. 1,0 m, przy czym $d_{10}=0,52$ mm a $d_{60}=0,92$ mm. Maksymalna prędkość filtracji uzyskiwana w tych warunkach wynosi 7,4 m/h, przy ok. 24-godzinnym cyklu pracy. Płukanie złoża odbywa się metodą wodno-powietrzną o natężeniu 15 l/m²s (woda) i 20 l/m²s (powietrze) i łącznym czasie trwania ok. 10 minut.

Ostatnią fazą uzdatniania wody są procesy związane z jej dezynfekcją ozonem i chlorem. Newralgicznym punktem procesu technologicznego są klarowniki z zawieszonym osadem. W oczyszczaniu wody spełniają one rolę decydującą, usuwając do 40‰ barwę, do 70‰ mętność i do 30‰ utlenialność wody surowej i mają bezpośredni wpływ na pracę filtrów pospiesznych. Na skutek pewnej zdolności adsorpcyjnej osadu zawieszonego, ewentualne zakłócenia jego pracy narastają stopniowo, co w warunkach eksploatacyjnych stwarza możliwość podjęcia w porę odpowiednich decyzji. Prowadzona od ponad 10 lat ciągła optymalizacja pracy klarowników przyniosła efekty, które obrazuje tabela 3.

W zestawieniu tym pominięto skład wody surowej z uwagi na nieznaczne tylko jego zmiany w poszczególnych latach. Po tym okresie

możliwości usprawnienia procesu koagulacji w klarownikach z zawieszonym osadem bynajmniej nie zostały wyczerpane. Na przykład za naturalną niejako ich „wadę” uważa się spadek wydajności w okresie zimowym, kiedy temperatura wody surowej ulega radykalnej zmianie.

Uzyskane wstępne wyniki eksploatacyjne podczas zimy 1984/85 wskazują na możliwość podwyższenia wydajności klarownika w tym okresie co najmniej o 10‰ i uzyskania prędkości przepływu wody w strefie osadu zawieszonego równej 0,82 mm/s. Rezultat ten uzyskano utrzymując pH wody na wlocie do klarowników w przedziale 7,2—7,5, przez wstępne dawkowanie mleka wapiennego oraz wydłużenie czasu mieszania reagentów z wodą.

Obecnie w trakcie budowy znajduje się instalacja do recyrkulacji osadów pokoagulacyjnych w jednym z klarowników. Jak wykazały własne badania laboratoryjne, na drodze tej istnieje możliwość dalszego usprawnienia procesu koagulacji, przy zmniejszonej dawce koagulantu.

Przykłady te nie wyczerpują oczywiście możliwości usprawnienia pracy klarowników z osadem zawieszonym. Praktyka wodociągu sulejowskiego wskazuje na ich dużą uniwersalność i skuteczność, nawet w warunkach niewysokiej mętności wody surowej oraz możliwość znacznej ekonomizacji ich pracy, jeśli występuje w tym kierunku odpowiednia inwencja eksploatorów.

Głównym problemem występującym w hali filtrów pospiesznych jest wadliwe rozwiązanie uszczelnień między płytami drenażowymi. Uszczelnienie stanowi sznur bawełniany smołowany, zalewany lepikiem. Ponieważ boczne powierzchnie płyt nie są odpowiednio ukształtowane, jak również nie ma możliwości równomiernego ubicia sznura, po pewnym czasie w wyniku wstrząsów wywołanych płukaniem powietrzno-wodnym następuje stopniowe rozszczelnienie płyt drenażowych. W wyniku tego piasek przedostaje się do przestrzeni międzydennej. Problem ten został w znacznej mierze wyeliminowany przez zastąpienie sznura smołowanego sznurem bawełnianym łożowanym o przekroju kadratowym, który posiada większą trwałość i elastyczność. Następnie powierzchnię styku płyt, po odpowiednim przygotowaniu, zamiast lepikiem zalewa się żywicą epoksydową. Uszczelnienie to wykazuje kilkakrotnie większą trwałość w stosunku do poprzedniego. Ponadto zawsze należy liczyć się z faktem, że część piasku przeniknie przez dysze filtracyjne i wraz z filtratem popłynie na następne urządzenia. Dawniej, po filtrach z reguły budowano zbiorniki wody czystej, w których odkładał się piasek wynoszony z filtrów. W ostatnich latach coraz częściej woda po filtracji przez złoża piaskowe poddawana jest dalszym zabiegom technologicznym, a transportowany piasek nawet w ilościach minimalnych jest przyczyną różnych zakłóceń. W SUW Kalinko za filtrami znajduje się ozonownia, której komory kontaktowe z konieczności peł-

Tabela 3
SREDNIE DAWKI REAGENTÓW DO UZDATNIANIA WODY
W OKRESIE 1973—1984 R.

R o k	g/m ³		
	siarczan glinowy (bezwodny)	krzemionka aktywna	chlor (wstępnie)
1973	35,00	—	—
1974	30,13	4,50	—
1975	28,53	4,53	5,22
1976	24,67	3,81	2,91
1977	22,73	4,88	4,71
1978	20,41	3,01	3,63
1979	18,40	2,76	4,17
1980	20,27	2,79	4,57
1981	17,86	2,47	4,56
1982	14,35	2,02	4,45
1983	14,50	2,21	4,83
1984	11,11	2,16	4,33

nią rolę piaskownika. Rocznie ze zbiorników tych usuwa się, w trudnych warunkach ok. 20 ton piasku. Z wyliczenia wynika, że każdy 1 m³ wody przenosi z filtrów do komór kontaktowych 3 mg piasku. Piasek przedostaje się głównie przez uszkodzone i nieuszkodzone dysze filtracyjne oraz szczeliny między płytami. Usunięcie piasku wymaga corocznego dłuższego postoju ozonowni. Można by tego uniknąć projektując za filtrami odpowiedni piaskownik. Potrzeba budowy tego typu urządzeń na dużych stacjach uzdatniania powinna być zatem brana w przyszłości pod uwagę.

Doświadczenia eksploatacyjne w zakresie ozonowania wody, w ostatnim etapie jej uzdatniania wskazują na konieczność zastosowania po tym procesie filtrów węglowych, które zatrzymałyby produkty częściowego utlenienia związków organicznych i mineralnych. Z powodu braku takich filtrów, eksploatację stacji ozono-

wania wody prowadzi się nie przekraczając dawki 1 mg O₃/dm³. Powyższą dawkę uzasadnia również fakt, że woda po ozonowaniu po upływie 10 minut podlega procesowi chlorowania końcowego, a jak wykazały badania powinno to nastąpić dopiero po 30 minutach, czego efektem byłoby zmniejszenie zużycia chloru w stosunku do stanu obecnego. Mimo to uzyskuje się dobre efekty technologiczne, m. in. poprawę smaku i zapachu wody oraz usunięcie barwy do 40% i utlenialności do 14%.

Niezależnie od wykazanych usterek, wodociąg Sulejów — Łódź dobrze spełnia swoje zadanie, dostarczając miastu odpowiedniej jakości wodę do celów bytowych i przemysłowych. W okresie najbliższych lat przewidziana jest jego rozbudowa, w trakcie której niewątpliwie wiele występujących mankamentów ulegnie rozwiązaniu.

J. Maloszczyk, S. Romaniszyn

On the operation of the Sulejów-Łódź water works

The characterization of the water supply system for

the agglomeration of Łódź (Poland) is given. The composition of the Sulejów reservoir water (which is supplied for intake) and adequate treatment technology are discussed in detail. Suggestions are made as to how the efficiency of sludge-blanket clarifiers can be increased. The difficulties encountered during operation of the water works are pointed out.