



Wjazd do ZUW Dłubnia



Teren zakładu Dłubnia

# Modernizacja filtrów pospiesznych w ZUW Dłubnia w Krakowie

tekst: **ANNA BIEDRZYCKA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

zdjęcia: **MIEJSKIE PRZEDSIĘBIORSTWO WODOCIĄGÓW I KANALIZACJI SA W KRAKOWIE**

W należącym do Wodociągów Miasta Krakowa Zakładzie Uzdatniania Wody Dłubnia poddano modernizacji węzeł filtrów pospiesznych, uzyskując efekt maksymalnej czystości uzdatnianej wody oraz optymalizacji i automatyzacji prowadzonych w zakładzie procesów technologicznych.

ZUW Dłubnia funkcjonuje od 1960 r. i zaopatruje w wodę ok. 200 tys. mieszkańców osiedli nowohuckich. Woda ujmowana jest z Dłubni, lewobrzeżnego dopływu Wisły (wydajność max. zakładu wynosi 32 tys. m<sup>3</sup>/d, bieżąca produkcja 20 tys. m<sup>3</sup>/d). Dłubnia przepływa przez obszar Nowej Huty na długości 8,5 km (17,3% całkowitej długości rzeki). Na ok. 0,5 km przed ujęciem jest obwałowana. W odróżnieniu od Rudawy i Prądnika (Rudawa już od średniowiecza odgrywała bardzo ważną rolę w systemie gospodarczym i obronnym Krakowa, a w czasach współczesnych, w latach 1970–1986, była głównym źródłem wody dla krakowian), przez długi czas pozostawała poza granicami miasta i dlatego jej bieg nie uległ zmianom aż do połowy XX w. W wiekach wcześniejszych zasilala młynówkę biegnącą przez klasztor cystersów w Mogile.

Wodę surową pobiera się w Raciborowicach, gdzie na 10,565 km rzeki powstał betonowy jaz, podzielony na dwa segmenty o prześwitach 5 x 1,6 m. Pobór wody odbywa się w lewym przyczółku jazu przez dwa wloty z zamontowanymi zasuwami odcinającymi napływ wody. Komory za zasuwami są połączone rurociągiem prowadzącym do komory głównej, dalej woda płynie do studni zbiorczej, a z niej trzema rurociągami do osadnika wstępnego, który składa się z trzech komór. W komorach zainstalowano przelewy utrzymujące maksymalny poziom na rzędnej 218,70 m n.p.m. – woda z przelewów odprowadzana jest do rzeki. Z osadników woda płynie grawitacyjnie rurociągiem do studni zbiorczej w Ześlawicach. Ujęcie było modernizowane w 2005 r. (pierwszy etap modernizacji,

wykonano wówczas umocnienie brzegów przed i za ujęciem, zmodernizowano osadnik wstępny i zamontowano nowoczesny system zgarniania osadów) oraz w 2016 r. (drugi etap modernizacji, podczas którego przebudowano miejsce poboru wody surowej wraz z montażem systemu wstępnego podczyszczania – sito wąskoszczelinowe w komorze poboru wody).

ZUW Dłubnia przeszedł kilka modernizacji mających na celu zwiększenie niezawodności jego działania oraz sprostanie rosnącym wymaganiom wobec jakości wody do spożycia. Po modernizacji zakończonej w 2002 r. technologią uzdatniania wody oparto na koagulacji koagulantem glinowym przy okresowym wspomaganie sedymentacji (adsorpcja na węglu pylistym oraz wykorzystywanie nadmanganianu sodu do redukcji związków organicznych) z nowoczesnym systemem zgarniania osadów, filtracji pospiesznej, dezynfekcji dwutlenkiem chloru wytwarzanym na miejscu z kwasu solnego i chlorku sodu. Uruchomiono linię odwadniania osadów zagęszczonych, w tym prasę, oraz zmodernizowano osadnik wód technologicznych (odmulnik).

W styczniu 2015 r. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie podpisało umowę na wykonanie modernizacji filtrów pospiesznych ZUW Dłubnia z firmą Instal Kraków SA. Termin zrealizowania umowy określono na 30 września 2016 r., natomiast jej wartość wyniosła 12,2 mln zł brutto. Projekt wykonawczy przygotowała firma Aqua Seen Sp. z o.o. z Warszawy. Modernizacja filtrów została ujęta w *Wieloletnim planie rozwoju i modernizacji urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych MPWiK SA w Krakowie na lata 2015–2019*



Komory filtrów pospiesznych

(Kraków 2015). Wszystkie prace były prowadzone w czynnym obiekcie. W rezultacie powstał w pełni automatyczny układ filtrowania wody i płukania filtrów, dokonano wymiany drenaży w komorach filtrów wraz z zasypem nowego złoża filtrującego.

### Układ technologiczny ZUW Dłubnia – stan przed modernizacją

Ujęcie wody w Raciborowicach składa się ze studni zbiorczej i trzech osadników. Woda ze studni zbiorczej spływa do pompowni 1. stopnia w Zesławicach. Zadaniem pompowni jest wtłoczenie wody do zakładu uzdatniania w Krzesławicach, do czego służą cztery agregaty pompowe. Woda płynie do Krzesławic dwoma rurociągami  $\varnothing$  800 mm i  $\varnothing$  600 mm, pokonując różnicę wysokości 51 m. Na terenie zakładu uzdatniania woda wpływa do budynku koagulacji, w którym przez kolektor spinający końcówki rurociągów tłoczących wprowadzana jest do trzech komór szybkiego mieszania. Tuż przed ścianami tych komór znajdują się punkty dozowania koagulantu oraz węgla pylistego. W komorach następuje szybkie wymieszanie reagentów z wodą przy użyciu nowoczesnych, śmigłowych mieszadeł. Następnie woda wpływa grawitacyjnie, przez kolektor rozprowadzający, do pięciu podwójnych komór wolnego mieszania, gdzie może być w razie potrzeby dodany wodny roztwór nadmaganianu sodu dla wzmocnienia procesu koagulacji. Dozowanie reagentów jest w pełni zautomatyzowane. Wielkość dawek zależy od dwóch parametrów – mętności wody surowej i wielkości przepływu. Z komór wolnego mieszania woda przepływa do pięciu osadników pokoagulacyjnych o długości 80 m i pojemności ok. 1,5 tys. m<sup>3</sup> każdy, w których następuje proces wytrącania się osadów. Osad z dna osadników zgarniany jest automatycznie za pomocą zgarniaczy typu Zickerta i odprowadzany do komory osadów zagęszczonych. Z osadników pokoagulacyjnych woda rurociągiem  $\varnothing$  1000 mm płynie samoistnie do budynku filtrów i tam odbywa się jej przefiltrowanie.

W hali filtrów znajduje się 10 otwartych komór filtracyjnych, z których każda posiada trzy koryta odpływowe. Z filtrów woda



Pompownia wody uzdatnionej

uzdatniona płynie do zbiorników wody czystej o łącznej pojemności 18 tys. m<sup>3</sup>. Woda przefiltrowana po drodze do zbiorników podawana jest dezynfekcji za pomocą dwutlenku chloru. ClO<sub>2</sub> otrzymuje się z chlorynu sodu i kwasu solnego. Związek ten niszczy bakterie i wirusy znajdujące się w wodzie, gwarantując jej bezpieczeństwo mikrobiologiczne.

W budynku technologicznym, składającym się z części filtrowej i części pompowej oraz kondygnacji podziemnej, gdzie w części filtrowej zbudowano dwa rzędy komór filtrów i galerię rurociągów, zlokalizowana jest pompownia 2. stopnia, która tłoczy wodę uzdatnioną ze zbiorników dolnych do zbiorników górnych wody czystej, znajdujących się na terenie ZUW Dłubnia. Łącznie jest pięć zbiorników retencyjnych wody czystej, których całkowita pojemność wynosi 10 tys. m<sup>3</sup>. Układ pomp tłocznych składa się z trzech pomp poziomych zlokalizowanych w pomieszczeniu pompowni. Pompy pracują w układzie ssania z zalewaniem rurociągów ssących przez wspomagające pompy próżniowe. Czerpnię dla rurociągów ssących stanowi komora zlokalizowana poza budynkiem technologicznym. W pomieszczeniu pompowni pracują także dwie dmuchawy powietrza płuczącego typu CM 35S z silnikiem o mocy 75 kW (wydajność dmuchawy 31,7 m<sup>3</sup>/min przy nadciśnieniu 0,06 MPa).

Jeszcze przed ostatnią modernizacją (2015–2017), bo od 2010 r. praca filtrów była częściowo zautomatyzowana. Firma Comptur z Krakowa opracowała system sterowania filtrami ze stacji dyspozytorskiej, możliwe było automatyczne płukanie filtrów. Jeden sterownik mikroprocesorowy odpowiadał za pracę wszystkich 10 filtrów. Jednak proces filtracji jako całość przebiegał w układzie sterowania ręcznego.

Przepustnice dopływu wody surowej i odpływu wody uzdatnionej sterowane były napędami hydraulicznymi (woda zakładowa) w systemie zamknij – otwórz. Praca w systemie automatycznym polegała na załączaniu jednej z komór filtracyjnych w przypadku osiągnięcia poziomu maksymalnego zwierciadła wody filtrowanej. Płukanie złoża filtracyjnego odbywało się przez kolejne zamykanie i otwieranie



Hala filtrów pospiesznych

odpowiednich przepustnic wraz z załączaniem i wyłączeniem dmuchawy powietrznej. Woda płuczka była dostarczana w sposób grawitacyjny z górnych zbiorników retencyjnych wody czystej.

### Cel i zakres modernizacji

W projekcie modernizacji instalacji filtrów pospiesznych założono, że będzie wyposażona w pełni automatyczny układ filtrowania wody oraz płukania filtrów, przewidziano także wymianę drenaży w komorach filtrów wraz z zasypem nowego złoża filtrującego. Wszystkie urządzenia oraz instalacje poddane modernizacji, wchodzące w skład węzła filtrów pospiesznych, znajdują się nadal w budynku technologicznym. W hali filtrów pospiesznych ze względu na zmianę wielkości poszczególnych rurociągów dokonano korekty przebiegu ich tras.

Szczegółowy zakres prac modernizacyjnych węzła filtrów pospiesznych przewidywał przeprowadzenie modernizacji i remontu komór filtracyjnych, dostawę i zasyp nowego złoża piaskowego (złożo zostało dobrane na podstawie przeprowadzonych badań pilotażowych), montaż systemu drenażowego Se-Lop oraz modernizację pompowni 2. stopnia. Zaplanowano też modernizację rurociągów technologicznych z wymianą orurowania i armatury ze stali nierdzewnej z uwzględnieniem wymogu automatycznej pracy instalacji filtrów, a w szczególności wykonanie podpór pod rurociągi, modernizację instalacji wspomagania płukania powietrzem, modernizację instalacji płukania filtrów łącznie z zainstalowaniem nowych pomp płucznych, do których miałyby zostać podłączona instalacja płukania filtrów. W dalszej kolejności założono wykonanie niezbędnych prac renowacyjnych i budowlanych w hali filtrów, wykonanie instalacji elektrycznych oraz instalacji AKPiA wraz z zabudową urządzeń pomiarowych, montaż układu APF (analizator pracy filtra), rozruch i kalibrację urządzeń (urządzenia technologiczne i pomiarowe, armatura), rozruch układu technologicznego w cyklu pracy automatycznej), a także przeszkolenie załogi.

### Założenia technologiczne systemu

System sterowania filtrami po modernizacji składa się z 10 szaf zasilająco-sterujących dla poszczególnych filtrów oraz szafy zasilająco-sterującej dla urządzeń okołowfiltrów. Każda szafa wyposażona jest w panel dotykowy oraz sterownik mikroprocesorowy. Sterowniki przez sieć Ethernet są połączone z systemem wizualizacji opartym na dwumonitorowym zestawie komputerowym z oprogramowaniem Intouch Wonderware.

Generator ClO<sub>2</sub>

Obecnie każdy filtr można załączyć do pracy automatycznej (po uprzednim ustawieniu jego parametrów na panelu operatorskim szafy sterującej danym filtrem). Wielkość przepływu przez filtr zostaje ustalona przez regulator sterujący przepustnicami, tak aby utrzymać zadaną wartość przepływu.

Każdy z 10 filtrów otwartych ma po modernizacji blokowy drenaż szczelinowy. Na dnie komory filtracyjnej ułożono moduły filtracyjne systemu Se-Lop, nazwane przed dostawą systemu, firmę Aqua Seen Sp. z o.o., modułami dystrybucji mediów płuczających. Moduły te są wykonane z odpornego na korozję elektrochemiczną i biologiczną polietylenu o wysokiej gęstości HD-PE i w sposób trwały zamontowane na płaskim dnie komory w zaprawie cementowej. Specjalne kanały w modułach dystrybucyjnych odpowiadają za równomierne odprowadzenie filtratu, równomierne doprowadzenie mediów płuczających – powietrza i wody – oraz odpowietrzenie. Kanały odpowietrzające zapewniają wyrównanie ciśnienia podczas płukania, a występujące przegrody poprzeczne zabezpieczają przed falowaniem wody w poduszce powietrznej przy płukaniu oraz przed uderzeniami hydraulicznymi skutkującymi wyrzuceniem płukanego złoża do odpływu. Nierównomierność rozdziału mediów nie przekracza  $\pm 5\%$  w przypadku wody i  $\pm 10$  w przypadku powietrza. Minimalna i maksymalna intensywność płukania powietrzem wynosi 18–91 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Minimalna i maksymalna intensywność płukania wodą to 12,3–72 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Jednostkowa oporność drenażu przy płukaniu wodą z typową intensywnością ok. 60,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h wynosi ok. 1,56 kPa.

Głównym elementem systemu drenażowego Se-Lop jest drenaż filtracyjny, czyli sito szczelinowe, wykonane w 100% ze stali kwasoodpornej 304 (odpowiednik OH18N9), o szczelinach 0,2 mm w kształcie odwróconego trójkąta. Powierzchnia szczelin drenażu wynosi 8% całej powierzchni drenażu. Konstrukcja szczeliny oraz całkowite pokrycie powierzchni dna komory filtracyjnej drenażem zapewnia równomierny odbiór filtratu, dobrą dystrybucję mediów płuczających raz gwarantuje ochronę przed zapychaniem się szczelin ziarnami złoża filtracyjnego (garnet, piasek, antracyt). Drenaż jest przymocowany do układanych równolegle poziomych modułów dystrybucyjnych za pomocą uszczelnionych śrub.

Opisana wyżej konstrukcja drenażu umożliwiła ułożenie bezpośrednio warstwy filtracyjnej na drenażu bez konieczności zastosowania warstwy podtrzymującej. System drenażowy zastępujący warstwę podtrzymującą materiałem filtracyjnym

Panele dozujące ClO<sub>2</sub>

Odmulnik

ma również na celu zwiększenie odległości pomiędzy korytami a złożem filtracyjnym.

W filtrach od F1 do F10 ułożono złoża filtracyjne wielowarstwowe, składające się z garnetu – wysokość złoża 20 cm (garnet to minerał z gromady krzemianów, ze względu na wysoką twardość, ok. 7,5 w skali Mohsa, i odporność na ścieranie nadaje się do mechanicznego usuwania zanieczyszczeń z cieczy), piasku filtracyjnego – wysokość złoża 60 cm, antracytu – wysokość złoża 50 cm.

Powierzchnia komory filtracyjnej wynosi 30,67 m<sup>2</sup>, a prędkość filtracji max. 8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Wszystkie złoża filtracyjne mają atest PZH do kontaktu z wodą pitną. Projektowana dobowa wydajność filtrów wynosi 35 tys. m<sup>3</sup>/d. Doprowadzenie mediów do płukania filtra – powietrza i wody płucznej – odbywa się rurociągami zlokalizowanymi w galerii rurociągów. Układ rurociągów ma nowy system podpór i kompensatorów. Wszystkie filtry wymagały przebudowy, filtr nr 1 ma nieco inną konstrukcję od pozostałych. Wysokość i przekrój koryt uwzględnia ekspansję złoża podczas płukania oraz odpowiedni przepływ i odbiór wód popłucznych. Zużycie wody do płukania filtrów nie przekracza 2–3% produkcji filtra.

Według projektu, dla optymalizacji procesu płukania złoża miano dodatkowo zmodernizować układ płukania filtrów pospiesznych (pompownia płuczna zlokalizowana w komorze przy zbiorniku wody do płukania). Nie zbudowano jednak pompowni płucznej, dlatego płukanie filtrów odbywa się dotychczasową metodą – za pomocą wody płucznej napływającej grawitacyjnie ze zbiorników górnych. Podobnie planowano zmianę systemu płukania filtrów z wody dezynfekowanej na niedezynfekowaną. Nadal jednak używana jest woda dezynfekowana.

### **Modernizacja węzła filtrów pospiesznych – poprawa parametrów wody uzdatnionej i wzrost bezpieczeństwa bakteriologicznego**

Złoża filtracyjne oraz system drenażowy zostały zaprojektowane w taki sposób, aby zapewnić odpowiednią wydajność ZUW-u przy jednoczesnym zagwarantowaniu wymaganej jakości produkowanej wody. W cyklu podstawowym pracuje 10 filtrów otwartych. W sytuacji konieczności płukania jednej jednostki filtracyjnej proces filtracji wody prowadzony jest w pozostałych dziewięciu filtrach. Po zakończeniu płukania oraz przeprowadzeniu operacji zrzutu pierwszego filtratu płukany filtr zostaje powtórnie przywrócony do pracy w trybie filtracji. Wymiernym efektem

modernizacji jest znaczne wydłużenie cykli filtracyjnych przy zachowaniu wymaganych parametrów jakości wody uzdatnionej.

Dla uzyskania wydajności dobowej zakładu wydajność pojedynczego filtra wynosi 70–250 m<sup>3</sup>/h przy założonej maksymalnej produkcji dobowej (wspomniane wyżej 35 tys. m<sup>3</sup>). Prędkość filtracji przy założonej wydajności wynosi 4,81 m<sup>3</sup>/h i jest stosunkowo niewielka, aby zapewnić wymaganą, niską mętność filtratu. Unowocześniony system filtracji wody ma likwidować bakterie z gatunku *Clostridium perfringens* redukujących siarczany (liczba bakterii po filtracji 0 jtk/100 ml). Mętność wody nie przekracza 0,2 NTU przy wydajności nominalnej (gwarantowana mętność wody na filtry nie większa niż 4 NTU). Przy każdym filtrze znajdują się króćce do poboru próbek, wyznaczono również miejsca do inspekcji wewnątrz rurociągów.

Sterowanie filtrami może odbywać się lokalnie (szafa zasilająco-sterownicza przy filtrze) lub zdalnie z poziomu dyspozytorni ZUW Dłubnia. Automatyczny jest cykl płukania filtra i w sposób automatyczny następuje zrzut pierwszego filtratu po procesie płukania filtra. Rurociąg odpowietrzający komorę dystrybucji wody płucznej i odbioru filtratu wyposażony jest w automatyczny system odpowietrzenia, np. podczas regeneracji złoża. Automatyzacja procesów dotyczy m.in. regulacji wydajności filtra. Po uruchomieniu filtra, gdy opory na złożu filtracyjnym są bardzo małe, istnieje niebezpieczeństwo nadmiernego przeciążenia filtra bądź odsłonięcia złoża (przy równym napływie). Sposób regulacji oparty na przepustnicy regulacyjnej Z0102÷Z1002 na wypływie z filtra z jednoczesnym pomiarem lustra wody nad złożem zabezpiecza filtr przed przeciążeniem i „wysuszeniem”. W miarę pracy filtra i wzrostu oporów przepływu na złożu filtracyjnym (przy tej samej wielkości napływu) będzie wzrastać wysokość lustra wody nad złożem – system automatyki zareaguje wtedy większym otwarciem przepustnicy na wypływie z filtra, co spowoduje obniżenie oporów przepływu na rurociągu i obniżenie lustra wody. Gdy przepustnica na rurociągu wypływowym wody z filtra zostanie całkowicie otwarta, a poziom lustra wody podniesie się poza zadeklarowaną granicę, system automatyki pracy filtra spowoduje wyłączenie filtra oraz zgłoszenie go do procedury regeneracji. Wszystkie parametry automatyki mogą być zmieniane w zależności od potrzeb.

