

Tomasz BISZOF¹, Łukasz WEBER²

*¹Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Chodzieży
Chodzież*

*²Mikrosil Polska Sp z o.o.
Zespół Specjalistów ds. Badań i Wdrożeń
Radom*

BADANIA TECHNOLOGICZNE NAD UZDATNIANIEM WODY NA STACJI UZDATNIANIA WODY „PODGÓRNA” W CHODZIEŻY

1. Wprowadzenie

Przedprojektowe badania technologiczne są istotnym elementem procesu modernizacji istniejącej, jak i budowy nowej Stacji Uzdatniania Wody. Niestety, nierzadko pomija się je w toku prac wstępnych, co skutkuje niejednokrotnie problemami na etapie samej eksploatacji SUW.

Często na etapie badań technologicznych pojawiają się istotne aspekty technologiczne, które nie były dotychczas zauważalne, bądź nie zwracano na nie szczególnej uwagi. Ponadto niewątpliwym atutem badań technologicznych jest przybliżenie funkcjonowania układu uzdatniania przyszłym operatorom, co pozwala im następnie z większą świadomością eksploatować SUW.

Przykładem prac nad uzdatnianiem wody, dzięki którym wychwycono wiele ciekawych elementów technologicznych, wynikających głównie z jakości wody surowej, które mogły odbić się negatywnie po przeprowadzonej standardowo modernizacji, są badania wykonane na jednej ze Stacji Uzdatniania Wody eksploatowanej przez Miejskie Wodociągi i Kanalizację w Chodzieży - SUW Podgórna.

2. Charakterystyka ujęcia wód podziemnych oraz eksploatowanego układu uzdatniania

Stacja uzdatniania wody przy ul. Podgórnej w Chodzieży jest drugą co do wielkości stacją uzdatniania wody dla miasta Chodzieży. Została ona włączona do eksploatacji w

1993r. Projektowana wydajność stacji wynosiła $Q=90$ [m³/h]. Obiekt ten pracuje w oparciu o klasyczną technologię uzdatniania wody podziemnej opartą na filtracji jedno-stopniowej na złożu kwarcowym jednowarstwowym poprzedzoną napowietrzaniem ciśnieniowym.

Źródłem zaopatrzenia wodę dla SUW Podgórna jest ujęcie wód podziemnych przy ul. Kochanowskiego (w bezpośrednim sąsiedztwie stacji) oraz dwa ujęcia wody zlokalizowane przy ul. Młyńskiej w Chodzieży (oddalone odpowiednio o 500,0 [m] - ujęcie Młyńska I i oddalone o 1000,0 [m] od przedmiotowego obiektu - ujęcie Młyńska II).

Ujęcie przy ul. Kochanowskiego:

Ujęcie przy ul. Kochanowskiego jest najstarszym ujęciem dla miasta Chodzieży. Porzątki jego budowy sięgają pierwszej i drugiej dekady XX wieku, a prace nad rozbudową ujęcia rozpoczęto w latach 50 i 60-tych. Ujęcie to łącznie z ujęciem Młyńska I posiada zatwierdzone zasoby wody w ilości:

$Q = 60,0$ [m³/h] przy $s = 8,0$ [m] z utworów czwartorzędowych

$Q = 62,0$ [m³/h] przy $s = 38,8$ [m] z utworów trzeciorzędowych

Ujęcie przy ul. Kochanowskiego składa się aktualnie z dwóch pracujących studni głębinowych:

1. Studnia głębinowa nr 7 - odwiercona w 1974r. o głębokości 76,0 [m] ujmująca wodę z piętra trzeciorzędowego - mioceńskiego. Studnię zafiltrowano w warstwie piasków drobnoziarnistych, szarych. Bezpośrednio nad ujętą warstwą wodonośną znajdują się odpowiednio mułki piaszczyste szare (uwodnione) oraz niebieski ił plicieński. Zwierciadło wody posiada charakter artezyjski, a dynamiczne zwierciadło wody zalega obecnie na głębokości ok. 31,0 [m p. p. t.] Studnia eksploatowana jest z wydajnością $Q = 14,0$ [m³/h].

Woda surowa z tej studni charakteryzuje się ponadnormatywną zawartością żelaza ($1,0 - 1,3$ [mg/dm³]) i manganu ($0,1 - 0,15$ [mg/dm³]). Obserwuje się również dużą zmienność zawartości amoniaku w granicach normy.

2. Studnia głębinowa nr 14 - wykonana w 1995r. o głębokości 33,0 [m], pobiera wodę z piętra czwartorzędowego. Studnia posiada filtr siatkowy dwudzielny posadowiony w warstwie piasków drobno i średnioziarnistych (górną część) oraz piasków ze żwirem i żwiru z otoczkami (dolną część). Statyczne zwierciadło wody zalega na głębokości 12,53 [m p. p. t.], a studnia podaje wodę z wydajnością ok. 24,0 [m³/h].

Budowa struktury geologicznej warstwy wodonośnej w studni głębinowej nr 14 przekłada się na dobrą z punktu widzenia obowiązujących przepisów jakość. Zawartość żelaza jest na granicy wykrywalności ($0,01 - 0,03$ [mg/dm³]), a stężenie manganu wynosi ok. 0,2 [mg/dm³]. Ponadto woda posiada lekko alkaliczny odczyn i charakteryzuje się stosunkowo dużą i zmienną zawartością związków azotowych (stężenie azotanów jest na poziomie 9 - 10 [mg/dm³]). Utlenialność na poziomie 1,5 [mg O₂/dm³] wskazuje na brak substancji organicznych.

Ujęcie wód podziemnych przy ul. Młyńskiej (Młyńska I)

Ujęcie to składa się obecnie z jednej czynnej studni głębinowej nr 13 ujmującej trzeciorzędowe mioceńskie piętro wodonośne. Studnia ta została wykonana w 1993r. i ma

głębokość 100,0 m. Spąg warstwy wodonośnej stanowią mulki piaszczyste i ilaste szare. Nad warstwą znajdują się mulki i ily, przewarstwione węglem brunatnym. Studnia ujmuje wodę ze średnią wydajnością $Q = 15,0 \text{ [m}^3/\text{h]}$.

Woda surowa z tej studni charakteryzuje się przekroczoną zawartością żelaza ($1,0 - 1,5 \text{ [mg/dm}^3\text{]}$). Stężenie manganu jest na niskim poziomie i wynosi ($0,08 - 0,10 \text{ [mg/dm}^3\text{]}$), a stężenie amoniaku ok. $0,8 \text{ [mg/dm}^3\text{]}$. Charakterystyka warstwy wodonośnej, z której czerpie wodę studnia głębinowa nr 13 może powodować pewne problemy eksploatacyjne. Z uwagi na fakt, że warstwa wodonośna jest zbudowana z bardzo drobnych piasków szarych istnieje podejrzenie, uzasadniane konkretnymi przykładami z kraju, że wody ujmowane z podobnych warstw wodonośnych mogą sprawiać problemy eksploatacyjne, scharakteryzowane w dalszej części artykułu.

Ujęcie wód podziemnych przy ul. Młyńskiej (Młyńska II)

Na ujęciu Młyńska II eksploatowana jest obecnie jedna studnia głębinowa o głębokości 42,0 m. Jest to studnia wykonana w 1953r., bezfiltrowa (zakończona tzw. kawerną), ujmująca warstwę piętra trzeciorzędowego z artezyjskim zwierciadłem wody. Ujęcie to posiada zatwierdzone zasoby wody w wysokości $Q = 31,0 \text{ [m}^3/\text{h]}$ przy $s = 31,8 \text{ [m]}$ i jest eksploatowane przez MWiK sp. z o.o. w Chodzieży od 2005r. z wydajnością samowypływu. Woda ujmowana jest z warstwy piasków pylastych, przykrytych mulkami i warstwą węgla brunatnego. Ujmowaną wodę cechuje podwyższona zawartość żelaza (ok. $0,8 \text{ [mg/dm}^3\text{]}$) oraz niskie stężenie manganu (ok. $0,06 - 0,08 \text{ mg/dm}^3\text{]}$). Można również zauważyć podwyższoną utlenialność wody (ok. $6 - 8 \text{ [mgO}_2/\text{dm}^3\text{]}$) oraz barwę na poziomie $20 \text{ [mg Pt/dm}^3\text{]}$. Specyfiką tej studni jest obecność w wypływającej wodzie drobnych frakcji charakterystycznych piasków mioceńskich zawierających widoczne błyszczące, srebrzyste blaszki tzw. łyszczyki. Woda z przedmiotowej studni trafia bezpośrednio do zbiornika wody surowej skąd pompowana jest pompami głębinowymi na SUW Podgórna. Zbiornik wody surowej musi być co pewien czas czyszczony z uwagi na sedymentujące na jego dnie frakcje piasku mioceńskiego. Najdrobniejsze frakcje piasku mioceńskiego prawdopodobnie są transportowane na układ uzdatniania.

Podsumowując parametry wody surowej zasilającej SUW Podgórna ściśle zależą od układu pracujących studni głębinowych. Scharakteryzować ją jednak można jako wodę o podwyższonej barwie i lekko alkalicznym odczynie. Woda posiada wyższą zasadowość w stosunku do twardości, co wskazuje na obecność w wodzie tzw. zasadowości alkalicznej w ilości $50,0 \text{ [mg CaCO}_3/\text{dm}^3\text{]}$ spowodowaną obecnością jonów sodu i potasu. Stężenie żelaza ogólnego jest na poziomie $0,8 - 1,5 \text{ [mg/dm}^3\text{]}$, a amoniak waha się w granicach normy. Stężenie manganu jest również niskie ($0,06 - 0,12 \text{ mg/dm}^3\text{]}$, co praktycznie wyklucza możliwość naturalnego wpracowania powłok manganowych na ziarnach piasku kwarcowego w wystarczająco krótkim czasie. Ponadto woda jest średnio - twarda o twardości ogólnej $250 - 280 \text{ [mg CaCO}_3/\text{dm}^3\text{]}$ i posiada dość niską przewodność.

Woda surowa trafia na stację uzdatniania wody zbiorczym rurociągiem technologicznym, do którego podłączone są poszczególne studnie głębinowe. Pierwszym etapem uzdatniania wody na SUW Podgórna jest napowietrzanie. Prowadzone jest ono w centralnym mieszaczu wodno - powietrznym Ø 800 produkcji firmy Celpa - Łambinowice.

Do mieszacza doprowadzone jest sprężone powietrze ze sprężarki olejowej typu WAN. Sprężarka pracuje w cyklach ustalonych na podstawie pomiarów technicznych skorelowanych z wynikami natleniania wody.

Na SUW Podgórna znajdują się cztery filtry ciśnieniowe o średnicy $\varnothing$ 2400 [mm] każdy, z czego w ruchu utrzymywane są tylko trzy filtry. Sumaryczna powierzchnia filtracji wynosi $F=13,56$ [m²]. Filtry wypełnione są do wysokości 1200 [mm] piaskiem kwarcowym o standardowym uziarnieniu. W układzie technologicznym za filtrami wpięty jest chlorator C-52. Dezynfekcja na wyjściu ze stacji uzdatniania wody prowadzona jest wyłącznie okresowo oraz po większych awariach na sieci wodociągowej. Woda po uzdatnieniu trafia rurociągiem technologicznym $\square$ 150 mm do zbiornika wody czystej o pojemności $V = 90$ [m³]. Stamtąd pompami poziomymi typu PJM woda wtłaczana jest do sieci wodociągowej.

Proces płukania filtrów odbywa się wodą uzdatnioną w następującym układzie:

1. Powietrze z dmuchawy - 1,0 [min].
2. Woda + powietrze - 5,5 [min].
3. Woda 5,5 [min].

Długość cyklu filtracyjnego dla każdego z filtrów wynosi 7 dni. Popłuczyny z płukania filtrów odprowadzane są do dwukomorowego zbiornika wód popłucznych. o $V_C = 130,0$ [m³].

Układ technologiczny uzyskuje dobre wyniki jeżeli chodzi o usuwanie podstawowych parametrów fizyko-chemicznych z wody, w tym żelaza i amoniaku. Występują problemy z ponadnormatywnym stężeniem manganu, który oscyluje w wodzie uzdatnionej w granicach 0,06 - 0,08 mg/dm³.

3. Cel modernizacji i kierunki badań

Celem prowadzonych badań pilotowych i studiów przedmiotowych było przygotowanie wytycznych technicznych i technologicznych do modernizacji SUW Podgórna, a w szczególności:

- analiza technologiczna jakości wody surowej zasilającej SUW Podgórna;
- analiza istniejącego układu technologicznego pod kątem występujących problemów z ponadnormatywnym stężeniem manganu w wodzie uzdatnionej;
- dobór optymalnej wysokości i rodzaju złóż filtracyjnych w celu intensyfikacji i stabilizacji procesu odmanganiania wody;
- określenie optymalnych parametrów efektywnego płukania filtrów sprężonym powietrzem i wodą;
- analiza układu ciśnieniowego napowietrzania wody pod kątem jego efektywności;
- ocena zakładanych zmian w orurowaniu filtrów;
- określenie wytycznych technologicznych pod automatyzację układu uzdatniania wody.

Prace pilotażowe podzielono na dwa etapy:

1. Badania w skali laboratoryjnej mające na celu:
 - dobór najskuteczniejszego złoża katalitycznego do odmanganiania wody;
 - określenie charakterystyki technologicznej złoża,
 - ustalenie parametrów procesowych filtracji (wysokość, prędkości przepływu).
2. Badania w skali półtechnicznej z wykorzystaniem kolumny pilotowej w celu określenia szczegółowych wytycznych technologicznych dla modernizacji układu uzdatniania wody na SUW Podgórze. W badaniach tych wykorzystywano dwa wybrane złoża naturalne (piasek kwarcowy i chalcedonit) oraz złożo katalityczne, które wypadło najlepiej w badaniach laboratoryjnych.

W badaniach pilotowych położono szczególny nacisk na hydraulikę pracy złożów filtracyjnych, bowiem w toku eksploatacji złoża w skali technicznej przed modernizacją SUW zauważano symptomy szybkiej kolmatacji materiału filtracyjnego i związanych z tym problemów technologicznych.

Badania laboratoryjne prowadzono na małych kolumnach testowych, zasilanych bezpośrednio wodą uzdatnioną w technicznym układzie SUW (zawierającą jedynie ponadnormatywną ilość manganu - na poziomie ok 0,08 - 0,12 mgMn/l). Kolumny wypełnione były tylko złożami katalitycznymi różnego rodzaju w wysokościach realizujących założenia badawcze tj.:

- 20 cm
- 15 cm
- 10 cm

Wodę filtrowano z prędkością ok 6,0 m/h w krótkich cyklach, obrazujących głównie wstępną aktywność złoża katalitycznego.

W toku badań laboratoryjnych kontrolowano przede wszystkim stężenie manganu w wodzie przed i po filtracji na złożach katalitycznych oraz mętność filtrowanej wody.

Badania miały na celu precyzyjne wytypowanie rodzaju złoża, a także określenie jego wysokości jaką następnie zasypano na instalacji pilotowej.

Kolumna pilotowa natomiast, została rozstawiona bezpośrednio na Stacji Uzdatniania Wody Podgórze. Była to typowa instalacja wykorzystywana do podobnych badań, wykonana z pleksi, pracująca z ciągłym przelewem, płukana wodą oraz powietrzem.

Zasilano ją wodą napowietrzoną po aeratorze ciśnieniowym. W toku badań pilotowych kontrolowano następujące wskaźniki wody surowej (napowietrzonej) i uzdatnionej:

- mangan,
- żelazo,
- odczyn,
- tlen
- barwa, mętność,
- okresowo jon amonowy.

Oprócz parametrów jakości wody kontrolowano parametry procesowe takie jak:

- prędkość filtracji,
- długość cyklu filtracyjnego,
- związaną z długością cyklu, wysokość strat ciśnienia,
- efektywność płukania złożów wodą oraz powietrzem.

Badania pilotowe trwały przez czas ok 5 miesięcy i w trakcie ich realizacji na bieżąco weryfikowano pewne założenia, które wynikały z pojawiających się problemów i wniosków technologicznych.

4. Wyniki badań i ich interpretacja

Etap pierwszy

Pierwszy etap badań pozwolił wybrać złożo katalityczne do usuwania manganu z wody.

Decyzję o rezygnacji z zastosowania naturalnego materiału filtracyjnego (takiego jak złożo kwarcowe, czy chalcedonitowe) podjęto po analizie zawartości manganu w wodzie surowej.

Przy stężeniu tego wskaźnika na poziomie średnim ok. 0,1 mg/L wpracowanie naturalne mogło by przebiegać bardzo długo. Potwierdzają to m.in.:

- badania pilotowe na innych wodach o porównywalnym składzie chemicznym, w których czas wpracowania wynosił nawet do 1,5 roku,
- badania technologiczne prowadzone na obiekcie Stacji Uzdatniania Wody Podgórna, które wykazały, że nawet po optymalizacji pracy SUW w zakresie prędkości filtracji, długości cyklu filtracyjnego czy sposobu płukania złoża nie udało się osiągnąć efektu wpracowania piasków kwarcowych, w efekcie czego stężenie jonu manganowego w wodzie uzdatnionej notorycznie przekraczało dopuszczalne wartości.

Czynniki te skłoniły do założenia, że odmanganianie wody prowadzone będzie na złożach katalitycznych.

W toku prowadzonych badań laboratoryjnych ustalono, że:

- każdy z trzech przebadanych materiałów katalitycznych, oferowanych przez firmy krajowe, usuwał mangan do wartości zgodnych z obowiązującą normą przy wysokości złoża równej 0,2 m,
- tylko jedno złożo filtracyjne usuwało mangan do wartości zgodnych z normą przy wysokości złoża równej 0,1 m - był to materiał Multimann 3M oferowany przez firmę Dynamik Filtr,
- część złóż katalitycznych cechowało znaczne zapylenie, które sięgało nawet do 10 % wartości podziarnia w ujęciu masowym,
- krótkie cykle filtracyjne pozwalały jedynie oszacować efektywność usuwania samego manganu na złożach katalitycznych,
- w badanej wodzie nie było żelaza (była to woda uzdatniona po filtrach technicznych), przez co czynniki ograniczające efektywność usuwania manganu z wody ograniczone były do minimum,

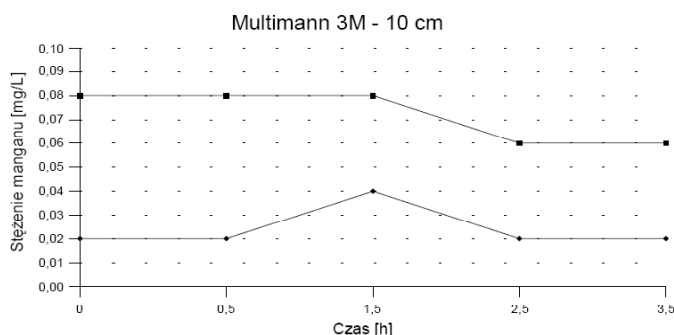
Rozkład stężenia manganu w wodzie surowej i przefiltrowanej na złożu Multimann 3M przedstawiono na wykresie 1.

Jak wynika z zamieszczonych danych, filtr badawczy pracował na stosunkowo niskim stężeniu manganu na wlocie (ok 0,06 - 0,08 mg/L), dając jednocześnie stabilny filtrat o niskiej zawartości manganu, wynoszącej średnio ok. 0,02 mgMn/L.

Żaden z pozostałych testowanych materiałów filtracyjnych nie dał tak dobrych efektów, przy jednocześnie tak niskiej wysokości (dla porównywalnych parametrów wejściowych).

W efekcie czego zdecydowano o zasypaniu złoża do kolumny pilotowej, przyjmując wysokość materiału na poziomie 15 cm, zakładając jednocześnie 50 % rezerwę w stosunku do uzyskanych w toku badań wyników.

Wykres 1. Efektywność pracy złoża Multimann 3M przy wysokości warstwy katalitycznej równej 10,0 cm



Etap drugi

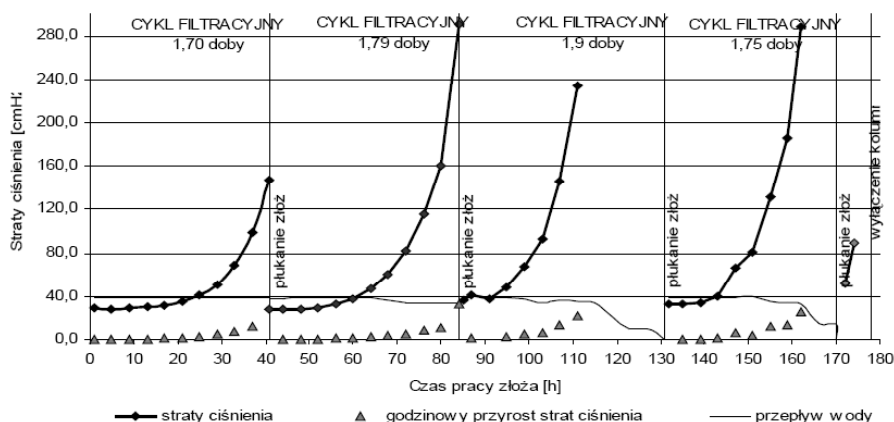
Badania w etapie drugim obejmowały VII serii badawczych. Jak wspomniano wcześniej, przede wszystkim zwrócono w nich uwagę na kolmatację złoża filtracyjnego oraz charakterystykę hydrauliczną jego pracy. W artykule przedstawiono wyniki trzech serii badawczych.

W pierwszej złożo w kolumnie pilotowej skomponowano w następujący sposób:

- warstwa podtrzymująca: 15,0 cm,
- warstwa katalityczna ze złoża Multimann 3M - 15,0 cm,
- warstwa filtracyjna z piasku kwarcowego o uziarnieniu 100 cm.

Złożo eksploatowano z prędkością filtracji równą 6,0 m/h w cyklach określonych stopniem kolmatacji złoża (stratami ciśnienia), których wartość, limitującą długość cyklu przyjęto na poziomie 200 cm.

Na wykresie 2 zilustrowano przebieg kolmatacji złoża żelazem. Dla każdego cyklu filtracyjnego wyznaczano charakterystyki hydrauliczne, pozwalające ocenić postęp kolmatacji materiału filtracyjnego.

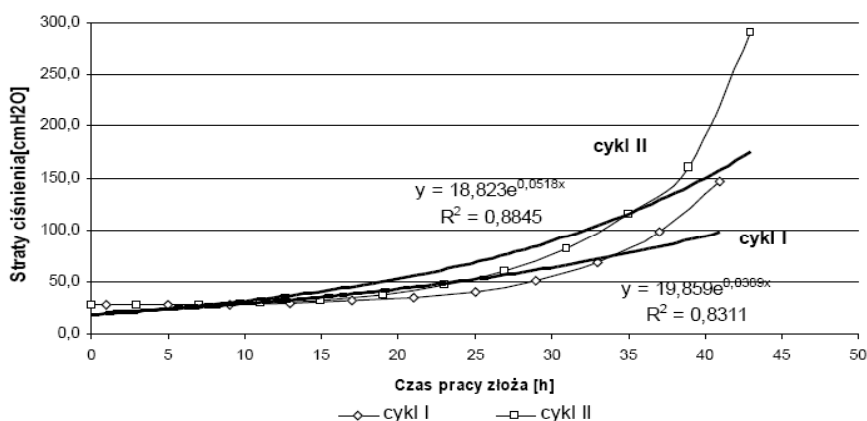


Wykres 2. Przyrost strat ciśnienia w pierwszej serii badań pilotowych z wykorzystaniem piasku kwarcowego

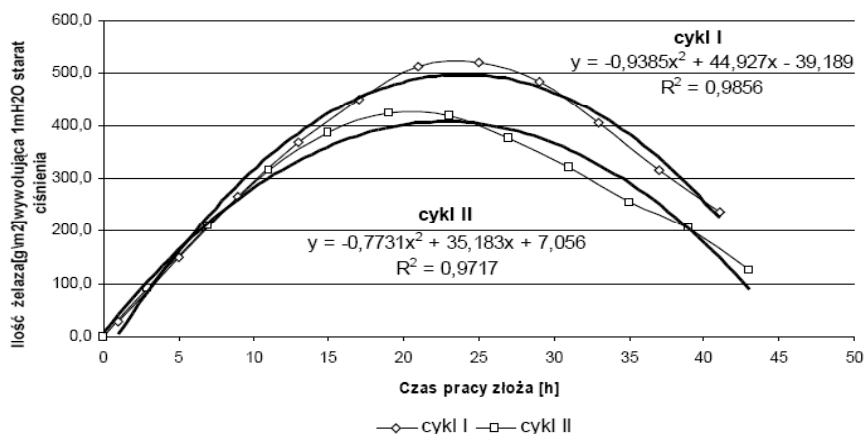
Wszystkie cykle filtracyjne trwały podobnie długo. W żadnym przypadku czas filtracji do momentu całkowitej kolmatacji nie przekroczył 2 dób. Średnia długość pierwszych czterech cykli wyniosła: 42 h. Pierwsza seria badawcza wskazała min. na:

- bardzo niską pojemność masową uzyskiwaną na złożu filtracyjnym w każdym z cykli; maksymalnie uzyskano 275 g/m² co jest wartością bardzo mocno odbiegającą od zalecanych literaturowo pojemności masowych (dla piasków kwarcowych ok 2000 g/m²),
- bardzo dużą stratę wywołowaną przez żelazo, której rozkład w czasie trwania cyklu filtracyjnego przebiega bardzo charakterystycznie; zgodnie z wykresami 3 i 4 w każdym z przeprowadzonych cykli zaobserwowano, że w początkowym okresie ilość żelaza wywołująca jednostkową stratę ciśnienia jest niska, po czym rośnie osiągając pewne ekstremum i następnie dość gwałtownie opada; taki przebieg charakterystyki hydraulicznej wskazuje, że początkowo zatrzymywane żelazo wywołuje dość dużą stratę ciśnienia, następnie stosunek ten poprawia się, po czym osiąga punkt przegięcia od którego niewielka ilość żelaza zatrzymanego na złożu wywołuje ponownie dużą stratę ciśnienia. O ile w przypadku końcowej części krzywej (spadek po osiągnięciu ekstremum) jest to zjawisko normalne i łatwe do wytłumaczenia, o tyle zastanawiający jest niski współczynnik w pierwszej części (który rośnie w trakcie pracy). Można to by rzucić na karb błędu badawczego, gdyby nie fakt, że taki przebieg krzywej charakteryzuje wszystkie wykresy pierwszych cykli badawczych. Można tylko przypuszczać, że inaczej żelazo zatrzymuje się w różnych fazach cyklu filtracyjnego. W fazie pierwszej może tworzyć luźno upakowane struktury wprowadzające znaczne opory hydrauliczne (ze względu na ich przestrzenne ukształtowanie). Z czasem zatrzymane żelazo zaczyna się coraz silniej upakowywać w złożu, przez co poprawia się stosunek ilości żelaza na każdy metr strat ciśnienia – do pewnego ekstremum. Po osiągnięciu punktu przegięcia, rozmiar porów złoża filtracyjnego, wypełnionych zatrzymanym żelazem jest już tak niewielki, że gwałtownie rośnie rzeczywista prędkość filtracji i tym samym strata ciśnienia na złożu filtracyjnym - aż do zakończenia cyklu filtracyjnego. Jest to bardzo specyficzna sytuacja. Co ważne cały proces kolmatacji złoża filtracyjnego dzieje się w górnej części filtra (pierwszych kilku centymetrach),

- praktycznie cała dolna część złoża filtracyjnego była wolna od zanieczyszczeń żelazowych i teoretycznie powinna bez problemu zainicjować proces usuwania manganu (na zastosowanej warstwie katalitycznej). Co ważne w górnej części filtra, tuż nad złożem filtracyjnym tworzył się charakterystyczny kożuch o grubości od kilku milimetrów nawet do kilku centymetrów. Brunatny kożuch ma wyraźną biologiczną strukturę, a jego oględziny po mikroskopem, wskazały na rozbudowane struktury bakterii tworzących charakterystyczne nitki. Sam kożuch nie wywoływał jednak wysokiej straty ciśnienia. Za nią odpowiedzialne było żelazo skumulowane w dosłownie 5 - 10 mm wysokości złoża filtracyjnego,
- wspomniany kożuch nie wystąpił w pierwszym i drugim cyklu filtracyjnym. Zaczął pojawiać się dopiero od 3 cyklu i od tego czasu występował już regularnie na kolumnie pilotowej. Ten fakt pozwala wnioskować, że:
 - jak wspomniano wcześniej kożuch nie wywołuje dodatkowej, czy wzmożonej kolmatacji złoża filtracyjnego (po zarówno w przypadku pierwszego jak i ostatniego cyklu filtracyjnego z serii 1 - 4 postęp kolmatacji był bardzo podobny),
 - wystąpienie kożucha jest ściśle związane z rozwojem określonego szczepu bakterii, które rozwijając się intensywnie w sprzyjających warunkach będą powodowały tworzenie wspomnianych struktur biologicznych (w pierwszym i drugim cyklu, w którym złożo nie było jeszcze wpracowane bakteriami kożuch nie tworzył się - dopiero z czasem, gdy w porach złoża pojawiła się dostateczna ilość bakterii, zaistniały warunki do bardzo intensywnego wzrostu kożucha na powierzchni złoża filtracyjnego),
- Płukanie kolumny w pierwszych cyklach filtracyjnych przebiegało bardzo sprawnie. Po wzruszeniu złoża powietrzem przez czas kilku minut wprowadzano wodę, które błyskawicznie odprowadzała zawiesiny zatrzymane na kolumnie, w wyniku czego już w zasadzie po 3 - 4 minutach płukania samą wodą odpływ był klarowny,
- z eksploatacyjnego punktu widzenia zauważono znaczne mieszanie się warstwy katalitycznej Multimann 3M ze złożem kwarcowym w dolnej części złoża filtracyjnego, zwłaszcza podczas płukania powietrzem.



Wykres 3. Przebieg kolmatacji złoża w pierwszych dwóch cyklach filtracyjnych pierwszej serii badań



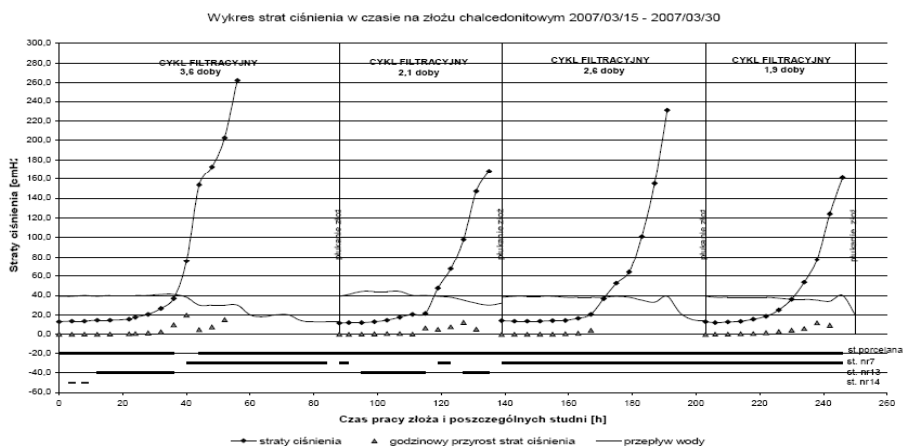
Wykres 4. Jednostkowa ilość żelaza wywołująca stratę ciśnienia równą 1,0 m w pierwszych dwóch cyklach filtracyjnych pierwszej serii badań

W celu sprawdzenia, czy postępowanie kolmatacji złoża filtracyjnego związany był z zastosowanym, bazowym materiałem filtracyjnym (piaskiem kwarcowym o uziarnieniu 0,8 - 2,0 mm) postanowiono dokonać zmian złoża, wykorzystując jako właściwą warstwę materiał chalcedonitowy również o uziarnieniu 0,8 - 2,0 mm. Badania technologiczne nad zastosowaniem tego materiału na stacjach uzdatniania wody ujmujących wodę o bardzo podobnej jakości wskazały, że pojemności masowe względem żelaza na tym złożu dochodziły nierzadko do 3500 - 4000 g/m². W związku z powyższym, istniał pewien punkt odniesienia, względem którego można było porównać warunki procesu filtracji.

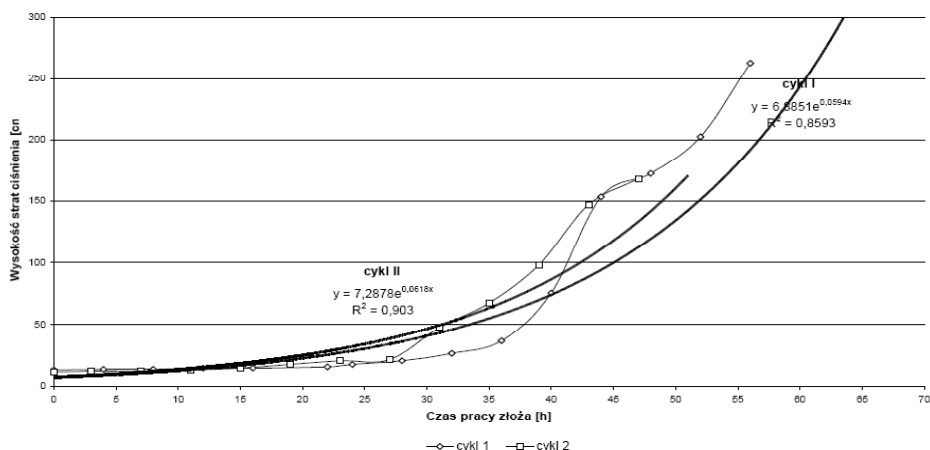
Zastosowanie złoża chalcedonitowego w drugiej serii badań pozwoliło na wyciągnięcie następujących wniosków technologicznych:

- złożo chalcedonitowe wbrew oczekiwaniom kolmatowało się z równie intensywnie co piasek kwarcowy,
- maksymalne pojemności masowe jakie udało się uzyskać na piasku chalcedonitowym oscylowały wokół 450 - 500 g/m², przy wysokich stratach ciśnienia, uniemożliwiających dalszą skuteczną filtrację wody,
- przebieg kolmatacji był bardzo podobny jak w przypadku piasku kwarcowego, o czym świadczą zamieszczone na wykresach 5 i 6 charakterystyki hydrauliczne - mianowicie do pewnego momentu zatrzymywane żelazo wywołuje bardzo wysoką stratę ciśnienia, po czym wskaźnik ten poprawia się osiągając maksymalnie dla złoża chalcedonitowego o uziarnieniu 0,8 - 2,0 mm: 1.000 g/m² i 1,0 mH₂O straty ciśnienia (przy 500,0 g/m² i 1,0 mH₂O dla piasku kwarcowego), po czym spada do bardzo niskich wartości,
- na złożu chalcedonitowym również tworzył się charakterystyczny kożuch, do wysokości nawet 3,0 - 4,0 cm powyżej poziomu złoża filtracyjnego,
- na wysokości ok 0,5 - 1,0 cm złoża filtracyjnego stworzyła się wyraźna strefa bardzo intensywnego zażelazienia, odpowiedzialna za wspomnianą intensywną kolmatację, co ciekawe, żelazo było w tej strefie bardzo mocno zbite, tworząc trudnoprzepuszcz-

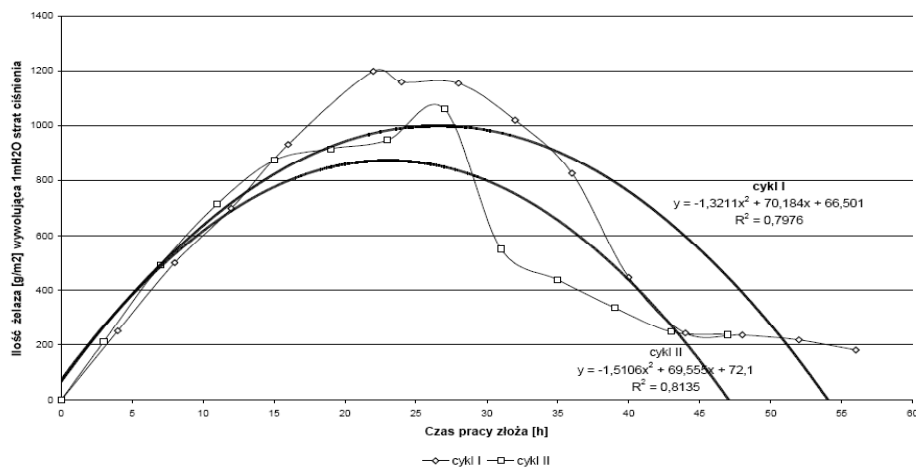
- czalną warstwę, kolmatującą wykładniczo - na co wskazują charakterystyki hydrauliczne,
- złożo bardzo szybko i skutecznie się odpłukiwało, po kilku minutach płukania wodą (przy wcześniejszym wypłukaniu złoża powietrzem) popłuczyny były klarowne, sam kożuch również ulegał szybkiemu odpłukaniu, jednak po załączeniu kolejnego cyklu filtracyjnego następował ponowny jego rozwój (szybszy niż w cyklu poprzednim),
 - ze względu na lepszy stosunek ciężaru, porowatości i kształtu ziarna, niż w przypadku piasku kwarcowego, złożo chalcedonitowe lepiej ekspanduje podczas płukania wodą i co ważne wyraźnie rozdziela się z cięższymi warstwami podtrzymującymi i warstwami katalitycznymi, przez co wzajemnie się one nie mieszają.



Wykres 5. Przyrost strat ciśnienia w drugiej serii badań pilotowych z wykorzystaniem piasku chalcedonitowego, jako właściwej warstwy filtracyjnej (wartości ujemne na osi Y obrazują które studnie głębinowe pracowały w danym cyklu filtracyjnym).



Wykres 6. Przebieg kolmatacji złoża w pierwszych dwóch cyklach filtracyjnych drugiej serii badań



Wykres 7. Jednostkowa ilość żelaza wywołująca stratę ciśnienia równą 1,0 m w pierwszych dwóch cyklach filtracyjnych drugiej serii badań

Dalsze poszukiwania przyczyn i sposobów zapobiegania bardzo intensywnej kolmatacji złoża filtracyjnego w kolejnych seriach badawczych polegały na:

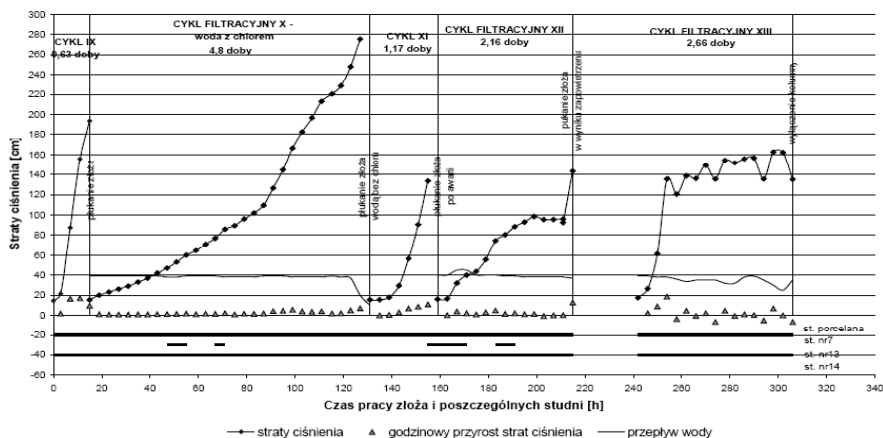
- w serii trzeciej: zastosowaniu złoża o grubszym uziarnieniu (przetestowaniu warunków brzegowych) - dokładnie 1,6 - 2,0 mm,
- w serii czwartej: wprowadzeniu koagulacji powierzchniowej związków żelaza przy użyciu koagulantu: PAX - XL 1905
- w serii piątej: wprowadzeniu utleniania chemicznego przy użyciu podchlorynu sodu.

W pierwszych dwóch przypadkach (wyższe uziarnienie złoża oraz stosowanie koagulacji powierzchniowej) nie poprawiono hydrauliki procesu filtracji. Złoże nadal intensywnie się kolmatowało, zaś cykle filtracyjne, nawet przy uziarnieniu 1,6 - 2,0 mm

trwały nie dłużej niż 2,0 doby (co odpowiadało pojemności masowej nie większej niż 500,0 g/m²). Ze względu na obszerny materiał badawczy oraz interpretacyjny w dalszej części referatu zostanie zaprezentowana seria piąta, która charakteryzowała się najkorzystniejszymi wynikami, z punktu widzenia hydrauliki pracy złoża, ale również efektywności usuwania żelaza i manganu.

Seria V

W serii piątej badaniu poddano ponownie złoże chalcedonitowe o uziarnieniu 0,8 - 2,0 mm, z tym że do wody surowej był dodawany podchloryn sodu. Jego stężenie dobrano w ten sposób, że po filtracji ilość chloru wolnego była na minimalnym poziomie. Dla porównania w serii V przeprowadzono również cykle bez chlorowania. Na wykresie 8 przedstawiono cykle od IX – XIII, gdzie tylko cykl X był prowadzony z wstępnym chlorowaniem.

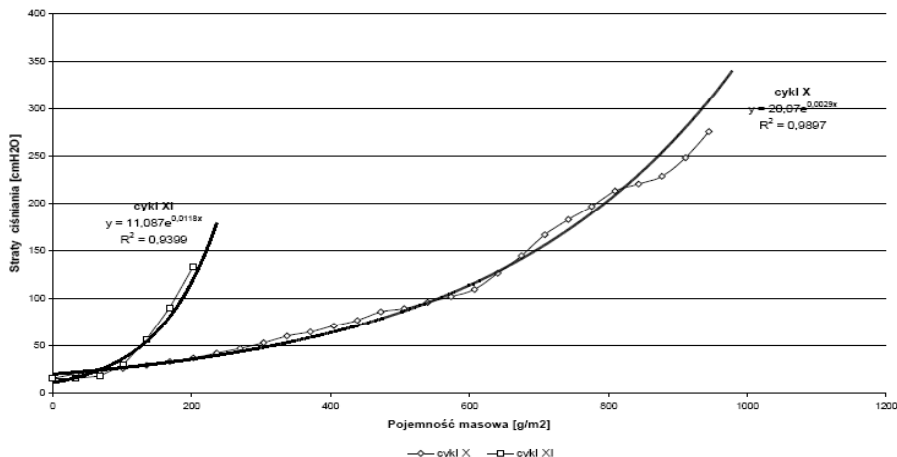


Wykres 8. Przyrost strat ciśnienia w piątej serii badań pilotowych

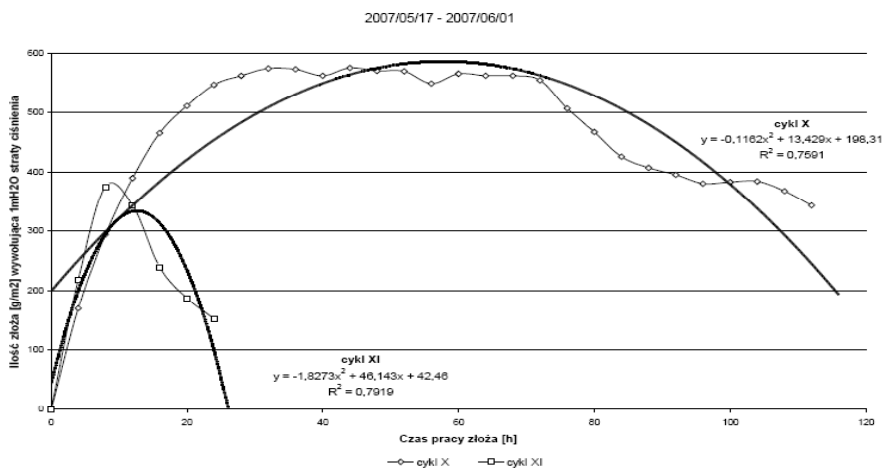
Wnioski jakie nasunęły się z obserwacji złoża w tym cyklu były następujące:

- dwa cykle porównawcze (cykl IX i XI) wskazały, że złoże o uziarnieniu 0,8 - 2,0 mm, szybko kolmatuje (zgodnie z danymi z II serii badawczej), osiągając maksymalną założoną stratę ciśnienia już po około dwóch dobach,
- w przypadku stosowania chlorowania wody surowej cykl ulegał zdecydowanemu wydłużeniu w stosunku do warunków bazowych, dochodząc do wartości ok. 120 godzin (5 dób),
- wydatnemu zwiększeniu uległa również pojemność masowa złoża (1000,0 g/m²), która bądź co bądź jest również wartością niską w stosunku do zalecanych,
- nie zauważono (tak jak w przypadku wcześniejszego cyklu z chlorowaniem) tworzenia kożucha w górnej części złoża filtracyjnego, co potwierdza tezę o udziale bakterii w tym procesie,
- przypuszczalnie podchloryn sodu zmienia strukturę wytrączanych kłaczków utlenionego żelaza, ponieważ, po wyłączeniu chlorowania natychmiast skracą się długość cyklu filtracyjnego (cykl XI); można przypuszczać, że bakterie na zdezynfekowanym złożu filtracyjnym rozwijają się bardzo trudno, przez co w cyklu XI (po cyklu z chlorowaniem) nie powinny się rozwijać; zatem jeśli o skracaniu cyklu filtracyjnego de-

cydowałyby jedynie bakterie, wówczas można założyć, że cykl IX oraz cykl XI (po chlorowaniu) powinny być dłuższe niż pozostałe, co jednak nie miało miejsca. Charakterystyki hydrauliczne dla cyklu X (z chlorowaniem wody surowej i bez chlorowania, przedstawiono na wykresach 9 i 10.



Wykres 9. Przebieg kolmatacji złoża w pierwszych dwóch cyklach filtracyjnych piątej serii badań



Wykres 10. Jednostkowa ilość żelaza wywołująca stratę ciśnienia równą 1,0 m w pierwszych dwóch cyklach filtracyjnych piątej serii badań

5. Podsumowanie i wnioski

Wnioski z przeprowadzonych badań można podzielić na dwie grupy: wnioski o charakterze ogólnym oraz wnioski o charakterze technologicznym.

Z technologicznego punktu widzenia:

- uzdatniana woda okazała się być dość trudnym surowcem, czego głównym przejawem były problemy z uzyskaniem zadowalającej długości cyklu filtracyjnego oraz bardzo intensywnej kolmatacji złoża filtracyjnego, co potwierdzały również obserwacje w skali technicznej,
- za bardzo intensywną kolmatację złoża, która powodowała m.in. zapowietrzanie materiału filtracyjnego oraz zakłócenie hydrauliki filtracji przez ośrodek porowaty odpowiedzialne było głównie żelazo, wespół z rozwijającymi się intensywnie na złożu filtracyjnym bakteriami nitkowatymi (co również potwierdzono w skali technicznej), tworzącymi charakterystyczny kożuch na powierzchni materiału filtracyjnego,
- prawdopodobna przyczyna leżała po stronie jednej ze studzien głębinowych, która (zgodnie z opisem zamieszczonym w pierwszej części artykułu) zawierała znaczne ilości piasku mioceńskiego w pewnej części sedymentującego w zbiorniku wody surowej,
- najskuteczniejszym sposobem wydłużenia cyklu filtracyjnego oraz poprawy efektywności zatrzymywania żelaza na złożu było dawkowanie podchlorynu sodu do wody surowej,
- inne z przetestowanych metod (zastosowanie złoża o wyższym uziarnieniu, wspomaganie usuwania żelaza poprzez dawkowanie koagulantów) nie przyniosły oczekiwanych efektów,
- dobrana na etapie badań laboratoryjnych warstwa katalityczna wystarczająco skutecznie usuwała mangan z wody surowej, zwłaszcza, jeśli utlenianie żelaza wspomagane było podchlorynem sodu,
- złoża, bez względu na sposób wstępnego przygotowania wody, bardzo dobrze się płukały (po wcześniejszym wypłukaniu powietrzem, woda szybko odprowadzała zawieszinę żelazową),

Wnioski o charakterze ogólnym, jakie nasunęły się podczas wykonywania badań to przede wszystkim następujące stwierdzenia:

- przed rozpoczęciem prac związanych z modernizacją SUW należy zweryfikować posiadane zasoby wody, dokonać oceny stanu technicznego studni głębinowych i określić optymalne wielkości eksploatacji dla poszczególnych ujęć komunalnych,
- badania pilotowe przed rozpoczęciem prac związanych z modernizacją SUW są nieodzownym i bardzo istotnym elementem zarówno z punktu widzenia technologicznego jak i ekonomicznego. Dobór całej technologii uzdatniania wody czy wyłącznie złożów filtracyjnych w oparciu o jednostkowe wyniki badań wody może okazać się bardzo kosztowny i wysoce nieskuteczny,
- zdecydowanie korzystniej przeznaczyć dodatkowe środki finansowe na sprawdzenie projektowanych rozwiązań w skali półtechnicznej niż ponosić ryzyko nieudanych, czy nietrafionych inwestycji. Woda z pozoru prosta do uzdatnienia w tradycyjnej technologii wcale taka być nie musi,
- przy wodzie zawierającej niewielkie stężenia manganu możliwość naturalnego wpracowania powłok manganowych na ziarnach naturalnego złoża filtracyjnego jest

znikoma. Zachodzi konieczność wprowadzenia warstwy katalitycznej do usuwania manganu,

- złoża filtracyjne należy dobierać dla uzdatniania konkretnej wody. Każda woda posiada bowiem inne właściwości, które mogą w różny sposób wpływać np.: na hydraulikę przepływu wody na filtrach, szybkość wpracowania złóż filtracyjnych, długość trwania cyklu filtracyjnego, kolmatację złóż filtracyjnych.
- wartym podkreślenia jest również nieoceniony aspekt edukacji kadry pracowniczey wynikający z prowadzonych badań pilotowych. Badania technologiczne prowadzone np. na kolumnie pilotowej w obrazowy sposób odwzorowują procesy zachodzące na filtrach w stacji uzdatniania wody.