

Krzysztof Wilmański, Danuta Kuziara

Modernizacja technologii oczyszczania wody z rzeki górskiej na przykładzie wodociągu w Wadowicach

Większość wodociągów w rejonie południowej Polski ujmują wody powierzchniowe z rzek górskich, które charakteryzują się specyficznymi właściwościami. Najistotniejszą ich cechą jest znaczna zmienność, zarówno co do ilości wody płynącej w rzece, jak również jej jakości. Obie te cechy bardzo istotnie wpływają na warunki eksploatacji zakładu oczyszczania wody. Z tego względu technologia oczyszczania wody ujmowanej z rzeki górskiej powinna być bardzo elastyczna, dostosowana do zmiennych cech wody i jednocześnie zapewniająca spełnienie wymagań jakościowych stawianych wodzie przeznaczonej do spożycia.

W przeszłości zakłady oczyszczania wody w południowej Polsce były wyposażane w typowe urządzenia do koagulacji i filtracji. Jako koagulant stosowano siarczan glinu, a procesy flokulacji i sedimentacji nie zawsze były realizowane w sposób optymalny. Charakterystyczne było stosowanie złóż filtracyjnych o niewielkiej wysokości (0,6+1,0 m), a proces dezynfekcji polegał na dawkowaniu chloru lub podchlorynu sodu. Ponieważ takie technologie nie spełniają obecnych wymagań, dlatego większość stacji oczyszczania wody w rejonach podgórskich wymaga pilnej modernizacji.

W pracy przedstawiono propozycję modernizacji wodociągu w Wadowicach, mającą na celu spełnienie wymagań jakości wody wodociągowej oraz poprawę warunków eksploatacji zakładu.

Jakość ujmowanej wody

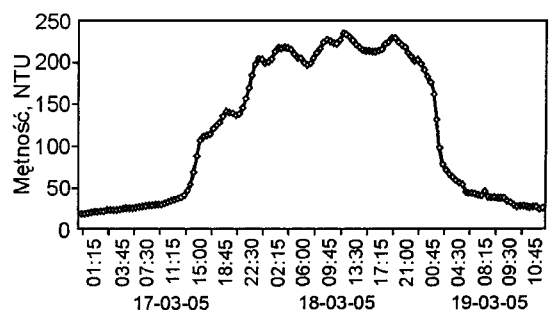
Wodociąg w Wadowicach jest typowym przykładem zakładu zasilanego wodą z rzeki górskiej, jaką jest Skawa. Jego wydajność wynosi 12 tys. m³/d. Przy normalnych stanach wody przepływ w Skawie jest niewielki, około 2,3 m³/s, natomiast podczas ulewnych deszczy oraz roztopów zwiększa się do wartości ponad 250 m³/s. Wpływ na to ma m.in. górzyste ukształtowanie terenu oraz mała przepuszczalność gruntu. W tabeli 1 przedstawiono wartości wskaźników jakości wody w Skawie w miejscu jej ujmowania w latach 2004–2007.

Ujmowana woda charakteryzuje się średnią twardością i małym stopniem mineralizacji. Jest skażona bakteriami grupy *Escherichia coli*, *coli* typu kałowego oraz *Clostridium perfringens*, co świadczy o jej zanieczyszczeniu ściekami bytowymi i rolniczymi. Liczebność bakterii była przez cały czas bardzo duża, jedynie liczba *Clostridium perfringens* okresowo (w ciągu lata) zmniejsza się do wartości poniżej 100 jtk/100 cm³.

Tabela 1. Wartości podstawowych wskaźników jakości wody w Skawie w przekroju ujęcia wodociągu Wadowice

| Wskaźnik, jednostka | Średnia | Minimum | Maksimum |
|--|---------|---------|----------|
| Mętność, NTU | 16,5 | 0,4 | 600 |
| Barwa pozorna, gPt/m ³ | 64 | 5 | 550 |
| Barwa rzeczywista, gPt/m ³ | 18,5 | 5 | 219 |
| pH | – | 6,34 | 8,36 |
| Utleniałość, gO ₂ /m ³ | 2,1 | 0,5 | 52,5 |
| Żelazo ogólne, gFe/m ³ | 0,13 | 0,01 | 1,78 |
| Mangan, gMn/m ³ | 0,04 | 0,01 | 0,11 |
| Azot amonowy, gNH ₄ ⁺ /m ³ | 0,13 | 0,02 | 0,48 |
| Azotany(III), gNO ₂ ⁻ /m ³ | 0,09 | 0,05 | 0,17 |
| Azotany(V), gNO ₃ ⁻ /m ³ | 5,4 | 4,9 | 6,2 |
| Fosforany, gPO ₄ ³⁻ /m ³ | 0,14 | 0,05 | 0,40 |
| Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³ | 164 | 136 | 182 |
| Liczba bakterii <i>coli</i> , jtk/100 cm ³ | 31200 | 240 | 240000 |
| Liczba bakterii <i>coli</i> typu kałowego, jtk/100 cm ³ | 15650 | 240 | 240000 |
| Liczba bakterii <i>Clostridium perfringens</i> , jtk/100 cm ³ | 290 | 20 | 1100 |
| Liczba bakt. mezofilnych, jtk/cm ³ | 9 | 0 | 63 |

Podczas gwałtownego topnienia śniegu w górach, silnych opadów atmosferycznych lub w czasie wykonywania intensywnych prac ziemnych przy budowie zapory w Świnnej Porębie następuje znaczne pogorszenie jakości wody w rzece. Szczególnie uciążliwy jest wzrost zawartości zawiesin w wodzie objawiający się wysoką mętnością. Przykład falowego wzrostu mętności wody, związanego z topnieniem śniegu w marcu 2005 r., przedstawiono na rysunku 1. Przy tak gwałtownych zmianach jakości wody reakcja systemu oczyszczania wody dostosowująca parametry procesowe powinna być bezwzględna, wykluczająca możliwość popełnienia pomyłki przez operatora.

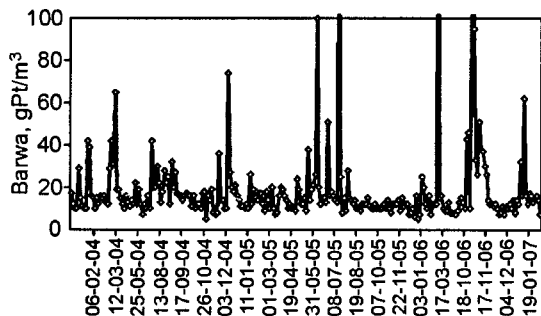


Rys. 1. Zmiana mętności wody ujmowanej ze Skawy w okresie pogorszenia jakości (17–19 marca 2005 r.)

Dr inż. K. Wilmański: Aqua Konsulting, ul. Wysłouchów 44/71, 30–611 Kraków, kwilma@o2.pl

Mgr inż. D. Kuziara: Wadowickie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, ul. Młyńska 110, 34–100 Wadowice, zuwwadowice1@wp.pl

Dużej mętności najczęściej towarzyszy zwiększenie intensywności barwy wody. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany barwy rzeczywistej (po odwirowaniu) wody w rzece w latach 2004–2007. Jednak czasami intensywna barwa występowała przy małej mętności wody (np. latem 2005 r. barwa 100 gPt/m³ przy mętności 2+5 NTU). Okresowo występuje więc zanieczyszczenie wody związkami rozpuszczonymi w wodzie odpowiedzialnymi za jej barwę. Wyniki te pokazują, że przy doborze optymalnej dawki koagulantu należy brać pod uwagę nie tylko mętność wody, ale również jej barwę.



Rys. 2. Barwa wody ujmowanej ze Skawy w latach 2004–2007

W ujmowanej wodzie występują również substancje biogenne, które mogą mieć wpływ na wtórne skażenie bakteriologiczne wody w sieci w warunkach zaniku środka dezynfekcyjnego. Ponadto należy spodziewać się zakwitów planktonu w wodzie zbiornika zaporowego Świnna Poręba po jego powstaniu, ponieważ takie zakwity występują w większości zbiorników zaporowych w rejonie południowej Polski (Goczałkowice, kaskada Soły, Dobczyce, Besko). Okresowo w wodzie występują też związki żelaza i manganu. Zwłaszcza usuwanie związków manganu na niskich złożach filtracyjnych jest niewystarczające, ponieważ złoża te nie mogą w krótkim czasie zostać uaktywnione do katalitycznego odmanganiania wody. Wszystkie te niekorzystne właściwości wody w rzekach górskich powodują konieczność stosowania technologii oczyszczania o wysokiej skuteczności.

Charakterystyka zakładu oczyszczania wody w Wadowicach

Zakład oczyszczania wody w Wadowicach został uruchomiony w 1993 r. Nominalna wydajność ujęcia wody wynosi 200 dm³/s, tj. 17280 m³/d. Obecnie zakład oczyszcza wodę przeciętnie w ilości 10 tys. m³/d. Modernizacja zakładu ma uwzględnić docelowo pobór wody w ilości 12 tys. m³/d. Na rysunku 3 przedstawiono obecny schemat układu oczyszczania wody w Wadowicach. Woda surowa ze Skawy jest ujmowana za pośrednictwem ujęcia brzegowego oraz ujęcia drenazowego (sączek i zbiorniki infiltracyjne).

Woda surowa po przepłynięciu przez dwukomorowy piaskownik kierowana jest dalej rurociągiem o średnicy 500 mm

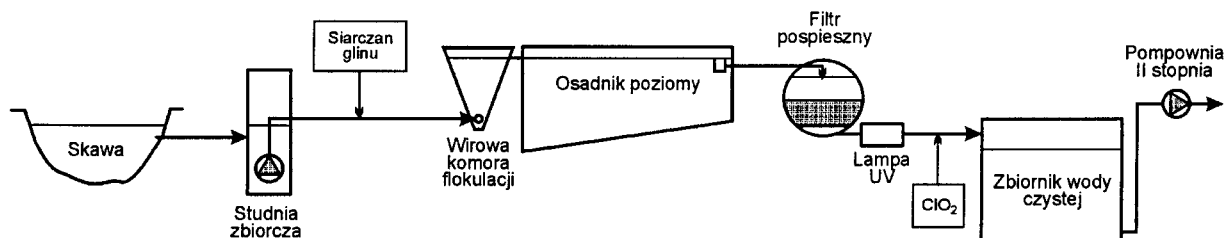
grawitacyjnie do studni zbiorczej, z której jest pompowana do trzech równoległych ciągów koagulacji i sedymentacji. Koagulant (siarczan glinu) dawkowany jest do rurociągu tłocznego. W wirowych komorach flokulacji następuje tworzenie kłaczków koagulacyjnych. Z komór wirowych woda przepływa do osadników poziomych o czasie przetrzymania około 2 godz. Osadniki są stosunkowo płytkie, w miejscu odpływu wody sklarowanej wysokość warstwy wody wynosi ok. 2 m. Dalej woda przepływa do filtrów pospiesznych (6 szt.), które zostały wykonane jako poziome zbiorniki stalowe o średnicy 2,5 m. Na wypełnienie filtru składają się 30 cm warstwa żwirowej podsypki oraz 60 cm warstwa piasku kwarcowego o uziarnieniu 0,8+1,4 mm. Woda po filtracji jest dezynfekowana promieniami UV, a następnie dwutlenkiem chloru. Woda oczyszczona gromadzona jest w zbiornikach wody czystej o czasie przetrzymania około 1 godz., z których jest pompowana do sieci.

Stosowana technologia oczyszczania wody ma wiele usterek. Proces flokulacji w komorach wirowych nie przebiega prawidłowo. Optymalne warunki hydrauliczne mieszania wody w tych komorach osiągnąć są jedynie przy maksymalnej wydajności stacji. Jednocześnie nie ma możliwości zamykania poszczególnych ciągów oczyszczania przy mniejszej produkcji, ze względu na zbyt mały czas przetrzymania wody w osadnikach. Najłabszym ogniwem układu oczyszczania wody są filtry pospieszne. Złoże filtracyjne jest za niskie, aby można było osiągać dobrą skuteczność filtracji wody. Poza tym zastosowanie filtrów poziomych pociąga za sobą inne problemy, m.in. wadliwie przebiega proces płukania złóż.

Eksploatowane w wodociągu Wadowice urządzenia są już w znacznym stopniu zużyte, energochłonne i mają niewielką sprawność. Nie przewidziano systemu automatycznego dostosowania parametrów operacyjnych procesu oczyszczania do zmian jakości wody. Wszystkie operacje wykonywane są ręcznie przez obsługę zakładu. Obecny układ technologiczny oczyszczania wody jest mało skuteczny i nie gwarantuje spełnienia wymogów stawianych obecnie wodzie przeznaczonej do spożycia. Podobne systemy oczyszczania wody zostały zastosowane w latach 70. i 80. ubiegłego wieku w kilku wodociągach ujmujących wody z rzek górskich w rejonie południowej Polski. Konieczna jest pilna modernizacja tego i podobnych zakładów, dostosowująca je do obecnych standardów.

Wyniki badań technologicznych

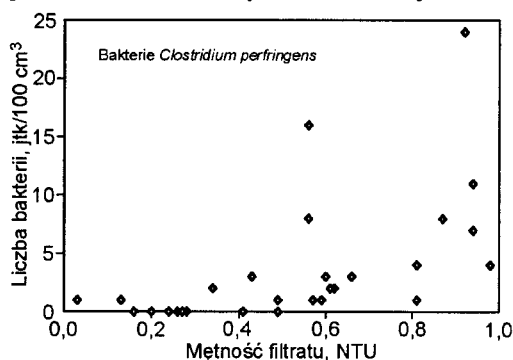
W ciągu ostatnich kilku lat przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych, pilotowych oraz w skali technicznej, mających na celu ustalenie najkorzystniejszej technologii oczyszczania wody ujmowanej ze Skawy. Badania procesu koagulacji z użyciem różnych reagentów zrealizowano w układzie tradycyjnym, a także w systemie Actiflo oraz w układach koagulacji on-line i koagulacji kontaktowej w złożach filtracyjnych.



Rys. 3. Schemat oczyszczania wody w wodociągu Wadowice (stan obecny)

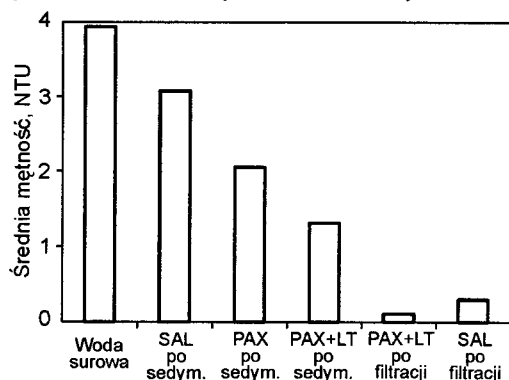
Badania procesu filtracji przeprowadzono na klasycznych filtrach jedno- i dwuwarstwowych oraz na filtrach kontaktowych typu Dynasand. Wyniki badań stanowią bardzo obszerny materiał. W pracy przedstawiono tylko niektóre dane, pokazujące najważniejsze kierunki modernizacji wodociągu Wadowice.

Procesy klarowania i dezynfekcji wody odgrywają znaczącą rolę z punktu widzenia bezpieczeństwa sanitarnego wody. Szczególnie trudne do usunięcia są bakterie *Clostridium perfringens*. Chlorowanie wody jest mało skuteczną metodą unieszkodliwiania tych bakterii. Konieczne jest stosowanie dużych dawek dwutlenku chloru. Jednakże stopień sklarowania wody ma również duże znaczenie. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań liczebności bakterii *Clostridium perfringens* przy różnej mętności wody przefiltrowanej. W przypadku kiedy mętność wody była mniejsza od 0,3 NTU, w wodzie pojawiały się bardzo nieliczne organizmy w ilości 0+1 jtk/100 cm³. Przy mętności wody w zakresie 0,3+0,5 NTU stwierdzono do 4 jtk/100 cm³, a przy mętności powyżej 0,5 NTU w wodzie występowało znacznie więcej bakterii, do 24 jtk/100 cm³.



Rys. 4. Liczebność bakterii *Clostridium perfringens* w wodzie przefiltrowanej w zależności od jej mętności

Wyniki te posłużyły między innymi do ustalenia zalecanej mętności wody. Stwierdzono, że mętność wody przefiltrowanej powinna być mniejsza od 0,2 NTU, a w skrajnych wypadkach nie powinna przekraczać 0,3 NTU. Aby uzyskać wymaganą mętność wody oczyszczonej przetestowano różne koagulanty. Przykładem tych badań mogą być pomiary dokonane w procesie koagulacji kontaktowej w złożu filtru typu Dynasand z użyciem chlorku poliglinu PAX 18 oraz kationowego polielektrolitu poly DADMAC Flobeads DB 45 SEP. Oba koagulanty wykazały dobrą skuteczność oczyszczania wody. Nieznacznie lepszy okazał się koagulant PAX 18, przy pomocy którego uzyskano korzystniejsze wyniki usuwania substancji organicznych (barwa, utlenialność). Na rysunku 5 przedstawiono skuteczność zmniejszania mętności wody w układzie obecnym i w warunkach

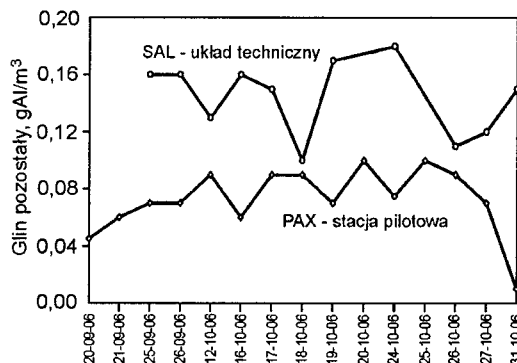


Rys. 5. Średnia mętność wody w różnych układach technologicznych (SAL – siarczan glinu, PAX – chlorek poliglinu PAX 18 LT – polielektrolit anionowy Magnafloc LT 25)

stosowania koagulantu PAX 18 oraz polielektrolitu anionowego Magnafloc LT 25. Zastosowanie nowych reagentów przyczyniło się do znacznej poprawy skuteczności klarowania wody w osadniku, w porównaniu z tradycyjnym procesem wykorzystującym siarczan glinu jako koagulant.

Mętność wody przefiltrowanej w przypadku stosowania PAX 18 i Magnafloc LT 25 była blisko 3-krotnie mniejsza w porównaniu z mętnością wody po filtrach w warunkach stosowania siarczanu glinu. Liczne testy wykazały, że polielektrolit anionowy Magnafloc LT 25 miał najkorzystniejsze działanie podczas oczyszczania wody ujmowanej przez wodociąg Wadowice. Jego dawki były niewielkie, mieściły się w zakresie 0,05+0,15 g/m³. Dzięki poprawie skuteczności pracy osadników przez zastosowanie polielektrolitu uzyskano również wydłużenie czasu trwania cykli filtracyjnych, a więc obniżenie zużycia wody do płukania złóż. Eksploatacja jednowarstwowych złóż tradycyjnych filtrów pospiesznych wymagała płukania co kilkanaście godzin (maks. co 24 godz.). Aby wydłużyć czasu trwania cyklu konieczne jest zastosowanie filtrów dwuwarstwowych, antracytowo-piaskowych.

W warunkach stosowania siarczanu glinu występowały trudności w utrzymaniu dopuszczalnej zawartości glinu w wodzie czystej. Na rysunku 6 pokazano zmiany zawartości glinu w wodzie podczas stosowania siarczanu glinu i PAX 18. W przypadku stosowania koagulantu polimerowego zawartość glinu w wodzie czystej nie przekraczała 0,1 gAl/m³, nawet w okresie małej mętności wody surowej.

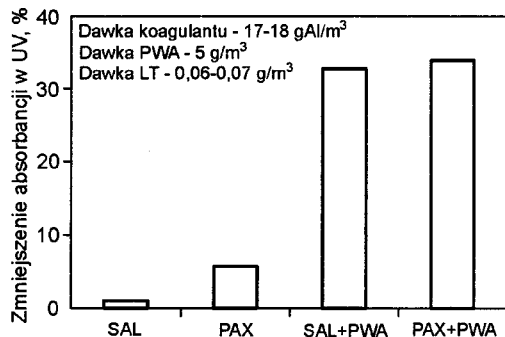


Rys. 6. Zmiany zawartości glinu w wodzie przefiltrowanej (SAL – siarczan glinu, PAX – chlorek poliglinu PAX 18)

Skuteczność usuwania substancji organicznych z wody w obecnym układzie technologicznym jest bardzo ograniczona. Zawartość zanieczyszczeń organicznych w wodzie jest pozornie mała – utlenialność (indeks nadmanganianowy) wody wynosi średnio 2,1 gO₂/m³. Jednakże w obecnych warunkach eksploatacyjnych występują okresy znacznego zużycia dwutlenku chloru dawkowanego w celu dezynfekcji wody. Zawartość tego dezynfektanta w wodzie odpływającej ze zbiorników wody czystej czasem zmniejszała się do wartości poniżej 0,02 gClO₂/m³, nawet przy zastosowaniu dawek powyżej 0,4 gClO₂/m³.

Okresowo, szczególnie w sezonie letnim, występuje wzmożony roślinno-gnilny zapach wody. W celu obniżenia zawartości zanieczyszczeń organicznych w wodzie wskazane jest okresowo dawkowanie pylistego węgla aktywnego jako środka wspomagającego proces koagulacji. Węgiel aktywny może poprawić skuteczność usuwania z wody substancji organicznych podatnych na utlenianie dwutlenkiem chloru. Jednocześnie sorbent ten może usuwać z wody substancje powodujące jej niekorzystny zapach. Ponadto w okresach małej mętności wody węgiel aktywny może ułatwić tworzenie kłaczków koagulacyjnych.

Na rysunku 7 przedstawiono wpływ dawkowania pylistego węgla aktywnego na zmianę absorbancji w UV ($\lambda=254$ nm) wody podczas koagulacji i filtracji. Wyniki uzyskano w trakcie badań na stacji pilotowej z klasycznym układem koagulacji.

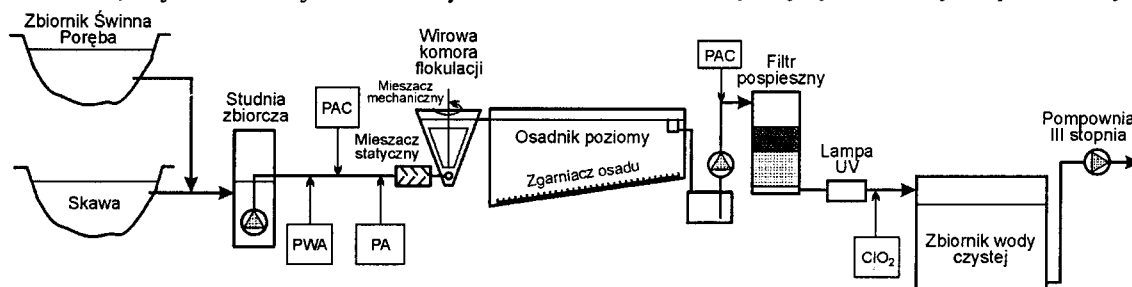


Rys. 7. Stopień zmniejszenia absorbancji w UV wody na stacji pilotowej w różnych układach technologicznych, w stosunku do skuteczności uzyskanej w skali technicznej (SAL)

Dzięki zastosowaniu węgla aktywnego o wysokiej zdolności sorpcyjnej (liczba jodowa powyżej 1000 mg/g) przy dawce ok. 5 g/m³ wartość absorbancji w UV zmniejszyła się o ponad 30%. Po zakończeniu badań wprowadzono przewidywane dawkowanie węgla aktywnego w skali technicznej. Dzięki temu zmniejszono zużycie dwutlenku chloru w zbiorniku wody czystej. W przypadku kiedy nie stosowano węgla aktywnego, zawartość dwutlenku chloru w zbiorniku zmniejszała się średnio o 0,2 gClO₂/m³, a w warunkach dawkowania tego sorbentu – o 0,14 gClO₂/m³. Należy przy tym zaznaczyć, że węgiel aktywny dawkowano w okresach gorszej jakości wody surowej.

Podsumowanie

Na podstawie wykonanych badań technologicznych ustalono zakres niezbędnej modernizacji układu oczyszczania



Rys. 8. Schemat oczyszczania wody w wodociągu Wadowice po planowanej modernizacji (PAC – chlorek poliglinu, PWA – pylisty węgiel aktywny, PA – polielektrolit anionowy)

Wilmański, K., Kuziara, D. Modernizing the Treatment Train for a Mountain River Taken in for Municipal Supply: The Waterworks of Wadowice. *Ochrona Środowiska* 2007, Vol. 29, No. 3, pp. 41–44.

Abstract: A traditional system for the treatment of mountain river water (taken in from the Skawa) is described, the case in point being the Waterworks of Wadowice. As was to be expected, the technological and technical condition of the treatment plant failed to allow for the production of tap water that would meet the quality standards required. Laboratory- and pilot-scale investigations were carried out to enhance the efficiency of the treatment process at the Wadowice Waterworks by an appropriate choice of reagents for the coagulation–adsorption process

wody w wodociągu Wadowice. Uwzględniono w nim wymagania technologiczne oraz możliwości ekonomiczne przedsiębiorstwa. Schemat zmodernizowanego zakładu przedstawiono na rysunku 8. Proponowane kierunki działań są następujące:

- budowa drugiego – alternatywnego – ujęcia wody ze zbiornika zaporowego Świnna Poręba w celu uniknięcia czerpania wody z planktonem w okresach zakwitów,
- zastosowanie pylistego węgla aktywnego w celu poprawy skuteczności koagulacji i usunięcia niepożądanych zanieczyszczeń organicznych,
- zastosowanie nowoczesnego koagulantu (np. chlorku poliglinu) w procesie koagulacji,
- dawkowanie polielektrolitu anionowego do wody w celu poprawy skuteczności procesów flokulacji i klarowania w osadnikach,
- montaż mieszacza statycznego na rurociągu tłocznym wody surowej,
- montaż mieszadeł mechanicznych o regulowanej prędkości obrotowej w komorach flokulacji celem poprawienia skuteczności procesu koagulacji,
- montaż zgarniaczy osadu pracujących w trybie posuwisto-zwrotnym do ciągłego usuwania osadu z dna osadników, dzięki czemu poprawiona będzie skuteczność klarowania wody w płytkich zbiornikach oraz uniknie się zagrożenia skażenia wtórnego wody poprzez gnijący osad zgromadzony na dnie,
- budowa nowych filtrów z wysokim złożem filtracyjnym, w którym można prowadzić koagulację kontaktową; mogą być one wykonane jako tradycyjne zbiorniki żelbetowe ze złożem dwuwarstwowym antracytowo-piaskowym lub jako komory kontaktowe z ruchomym złożem typu Dynasand; filtry powinny zapewnić zmniejszenie mętności wody do wartości poniżej 0,2 NTU (okresowo 0,3 NTU).

W podobnym zakresie modernizowane są inne zakłady oczyszczania wody znajdujące się w rejonie południowej Polski.

(coagulants, polyelectrolytes; powdered active carbon). The treatment efficiencies obtained were compared with the efficiencies achieved in the full-scale process over the same period. The results of the studies have revealed that coagulation with advanced coagulants, polyelectrolyte aid and adsorption on powdered active carbon is the most advantageous technological solution to the water treatment process. The efficiency of the flocculation chambers will be increased, and a sludge scraper will be installed in the settling tank. Filters of high clarifying efficiency will be constructed, thus enabling the second stage of the coagulation process to be performed in the filter beds.

Keywords: Mountain river, water treatment, modernization, coagulation, filtration, disinfection.