WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ◆ ZESZYTY NAUKOWE NR 74
NR 3 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1984

Zbigniew Hrynkiewicz

ROZWÓJ I STAN CENTRALNEGO ZAOPATRZENIA W WODĘ M. ZIELONA GÓRA ZMIANA TECHNOLOGII UZDATNIANIA WODY

Streszczenie

Zmiana jakości wód ujmowanych do celów wodociągowych w czasie eksploatacji ujęć zmussza często do zmiany technologii ich uzdatniania. Przyczyny i skutki takiego zjawiska omówiono na przykładzie centralnego zaopatrzenia w wodę m. Zielona Góra. Omówiono zakres modernizacji ciągu technologicznego uzdatniania wody i związanych z tym inwestycji.

W okresie rozwoju przemysłu i postępującej urbanizacji, zabezpieczenie dostawy wody do picia w odpowiednich ilościach i dobrej jakości stwarza w wielu miejscowościach duże trudności. Ciągle pogarszający się stan czystości kurczących się zasobów dyspozycyjnych wody zarówno powierzchniowych jak i podziemnych stwarza konieczność ciągłego inwestowania aby zabezpieczyć zaopatrzenie na wodę do picia. W przypadku omawianego wodociągu jego rozbudowa oraz zmiana technologii uzdatniania wody podyktowana była rozwojem miasta i pogorszeniem się jakości ujmowanej wody w czasie eksploatacji ujęcia wód podziemnych.

Rozwój wodociągu

Po długotrwałych badaniach lokalizacja Centralnego Ujęcia Wody w Zawadzie k/Zielonej Góry została ustalona w latach 60-tych. Do chwili oddania do eksploatacji I etapu ujęcia w 1966 r., miasto zaopatrywane było w wodę ze studni rozmieszczonych na terenie miasta. Część z nich eksploatowana jest nadal. Ujęcia wody podziemnej położone jest w pradolinie rzeki Odry na tarasach akumulacyjno-erozyjnych wyniesionych na 50÷55 m n.p.m. Skład chemiczny wody przed rozpoczęciem eksploatacji na terenie ujęcia był zróżnicowany. W pobliżu Odry zawartość związków żelaza i manganu w wodzie przekraczała obowiązujące normy i wynosiła: 5,8÷10,3 mg Fe/dm^3 i 1,8÷3,2 mg Mn/dm^3 oraz 6÷70 mg/dm^3 siarczanów. W rejonie obecnie eksploatowanych studni woda nie budziła

Mgr inż. Zbigniew Hrynkiewicz — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

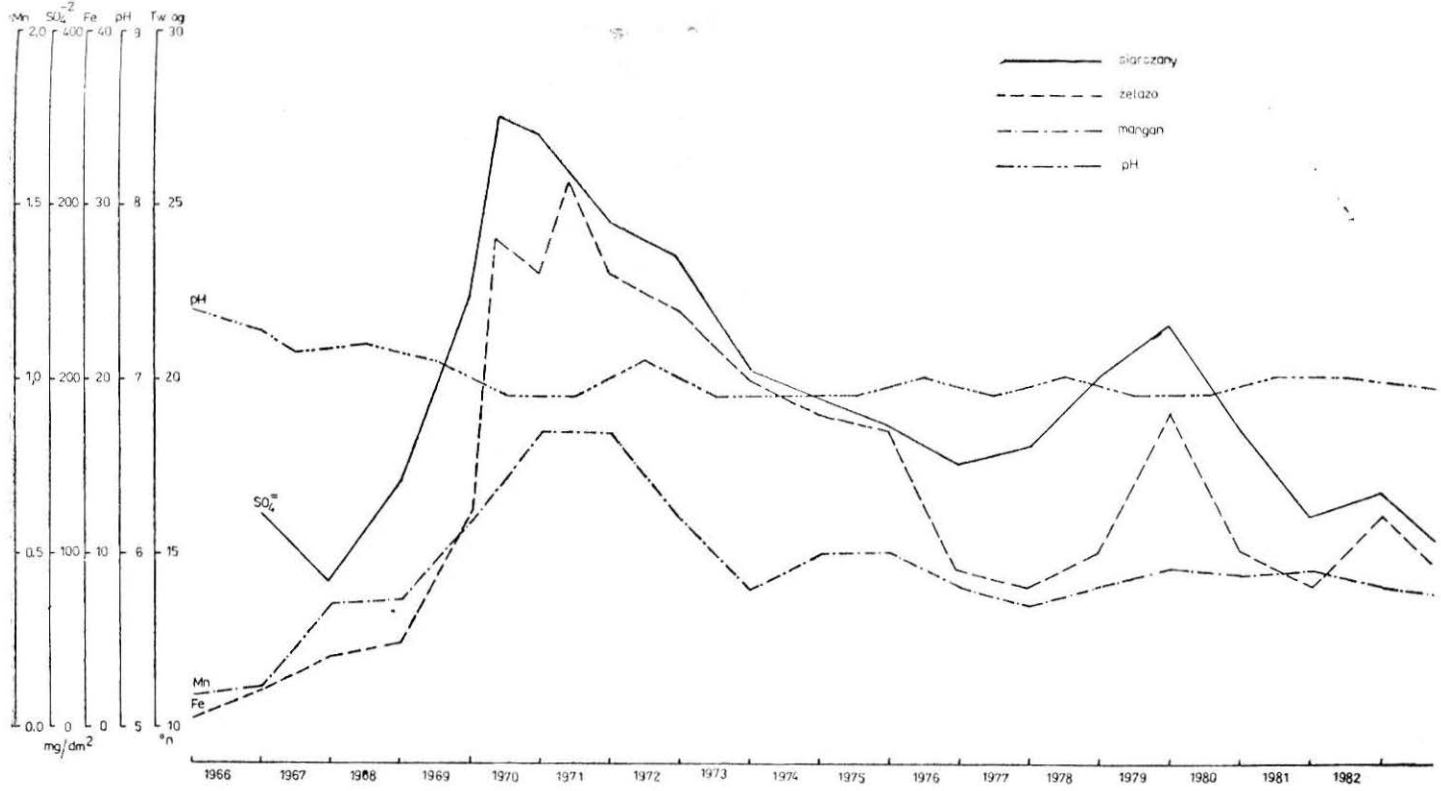
zastrzeżeń. Analizy wykazały 0,3÷0,6mg/dm³. Fe 0,06÷0,15 mg Mn/dm³, a siarczanów 9÷25 mg/dm³. Po oddaniu I etapu ujęcia podawano wodę do miasta bez uzdatniania. Fakt ten spowodował przyśpieszenie budowy stacji uzdatniania wody, którą oddano do eksploatacji w grudniu 1968 r. Zdolność produkcyjna stacji wynosiła wówczas 16,5 tys. m³/d. Proces uzdatniania polegał na napowietrzeniu otwartym w urządzeniach wyposażonych w dysze białostockie, przetrzymaniu w zbiorniku w czasie 0,5 h, filtracji przez złoże piaskowe na filtrach pośpiesznych oraz chlorowaniu wody uzdatnionej. W skład ujęcia wchodzą obecnie 22-e studnie o głębokości od 13 do 33 m czerpiące wodę z czwartorzędu za pomocą 2 lewarów do studni zbiorczej. Ze studni zbiorczej woda pompowana jest rurociągiem ∅ 500 do Stacji. Maksymalna wydajność ujęcia wody podziemnej wynosi 18 tys. m³/d wody podziemnej.

Zmiana jakości wody

Od chwili rozpoczęcia eksploatacji ujęcia jakość wody zaczęła się stopniowo pogarszać. Wskaźniki mineralizacji wody w studni zbiorczej przedstawiono na rys. 1. Gwałtowny wzrost zawartości żelaza w wodzie notuje się od marca 1970 r. W maju 1970 r. stwierdzono już 24÷28 mg Fe/dm³, 0,8÷1,0 mg Mn/dm³, siarczanów 350 mg/dm³, a w niektórych studniach więcej. Obecnie skład wody jest następujący: 9÷13 mg Fe/dm³, 0,8÷1,1 mg Mn/dm³ i 60÷70 mg/dm³ siarczanów. Zmiana jakości wody spowodowana została eksploatacją, która przyczyniła się do powstawania lejów depresyjnych wokół studni, obniżenie zwierciadła wody, zmiany kierunków przepływów czyli reżimu hydrogeologicznego. Na całym obszarze obserwuje się występowanie niewielkich obszarów pozbawionych warstwy izolacyjnej co ułatwia kontaktowanie się wód powierzchniowych z podziemnymi oraz duże zróżnicowanie zawartości żelaza w wodzie na stosunkowo małej powierzchni. Uwarunkowane to jest istnieniem zmiennej miąższości utworów madowo-torfiastych na stosunkowo małym obszarze, jak również zmiennym składem mineralogicznym oraz zróżnicowaną zawartością związków organicznych na tym terenie. Pochodzenie żelaza związane jest z utlenieniem pirytu występującego w skałach osadowych. Reakcja przebiega następująco:

$$2\ FeS_2 + 7\ O_2 + 2\ H_2O = 2\ FeSO_4 + 2\ H_2SO_4$$

Tlen niezbędny do przebiegu reakcji dostaje się wraz z przesiąkającą wodą oraz w wyniku zwiększenia się strefy aeracji spowodowanego obniżeniem zwierciadła wody. Powstający przy tym kwas siarkowy obniża pH wody powodując wydzielanie się dwutlenku węgla.



Rys. 1. Wskaźniki mineralizacji wody podziemnej

Zmiana technologii uzdatniania wody

Omówiona technologia zakładała obniżenie zawartości żelaza z 8 mg Fe/dm³ do wielkości normatywnej. Przez okres jednorocznej eksploatacji, mimo wahań ilości żelaza w wodzie surowej od 6,0 do 12 mg/dm³ stwierdzono pełną sprawność funkcjonowania stacji uzdatniania, nawet przy zawartości żelaza do 15 mg/dm³. Przy większych ilościach żelaza dysze w hali napowietrzania zatykały się, co powodowało słabsze rozpryskiwanie wody, odkwaszenie i natlenienie. Stopień napowietrzania wynosił 60%. W wodzie pozostawały jednak znaczne ilości żelaza dwuwartościowego. Skrócił się również cykl filtracji. Przy filtracji przez złoże piasku $d_{10}=0{,}65$ i $d_{60}=1{,}25$ zawartość żelaza w wodzie przekraczała wartości normatywne. Najdłuższe cykle filtracyjne od 18 do 23 godzin uzyskiwano z zachowaniem dobrej jakości filtratu na złożu o $d_{10}=1{,}00$ i $d_{60}=1{,}50$. W tych warunkach stacja uzdatniania podawała do sieci wodociągowej wodę o zawartości żelaza i manganu znacznie przekraczających wartości normatywne. Zrezygnowano więc z dalszej rozbudowy ujęcia wód podziemnych, którego docelowa produkcja miała wynosić 44 tys. m³/d. Wybudowano nowe ujęcie wód powierzchniowych z rzeki Obrzycy w Sadowej, które przewidziano do ujmowania 96 tys. m³/d wody. Jest to maksymalna dopuszczalna ilość wody, jaką można ująć z tej rzeki. Obecnie ujmuje się około 43 tys. m³/d tej wody. Wodę przetłacza się rurociągiem ∅ 800 o długości 10 km z przejściem syfonowym pod rz. Odrą do Stacji Uzdatniania Wody w Zawadzie. Wybudowano dwa akcelatory o średnicy 24 m każdy, budynek do magazynowania i przyrządzania mleka wapiennego oraz budynek chlorowni. Wyłączono z eksploatacji urządzenia napowietrzające. Nowy wodociąg został przebudowany i oddany do rozruchu w grudniu 1975 r. i w tej postaci istnieje do dnia dzisiejszego. Obecnie trwa trzeci etap rozbudowy wodociągu, w którym realizowane są następujące inwestycje: nowa hala filtrów piaskowych o powierzchni 360 m² oraz filtrów węglowych o powierzchni 240 m², cztery akcelatory oraz laguny na osady z akcelatorów i wód popłucznych. Przy przebudowie proces uzdatniania uległ zasadniczej zmianie. Źródłem zasilania obecnego wodociągu jest dotychczas eksploatowane ujęcie wody podziemnej oraz nowe ujęcie wody powierzchniowej. Woda powierzchniowa mieszana jest z wodą podziemną w stosunku 3:1, tak aby zawartość żelaza wynosiła 3 mg/dm³. Mieszana woda doprowadzana jest do akcelatora, w którym w dolnej części doprowadzana jest woda chlorowa, a w górnej komorze reakcji mleko wapienne. Po utlenieniu związków żelaza i wytrąceniu wodorotlenków w postaci zawiesiny, których sedymentacja następuje w zewnętrznej komorze reaktora, wstępnie oczyszczona woda spływa grawitacyjnie na filtry pośpieszne. Po przefiltrowaniu woda zostaje

dochlorowana i spływa do zbiornika wody czystej. Proces technologiczny wodociągu w Zawadzie oparty na mieszaniu dwóch rodzajów wód, zakłada wykorzystanie nadmiaru żelaza w wodzie podziemnej jako czynnika koagulacyjnego. Jest to rozwiązanie na pewno ekonomiczne, nowatorskie, jednak stwarzające szereg trudności w eksploatacji i to z wielu powodów. Taki sposób koagulacji można z łatwością stosować w laboratorium, natomiast w skali technicznej jest trudniejszy do opanowania. Najważniejszy problem to zmienność składu wody rzecznej (tabela 1) i

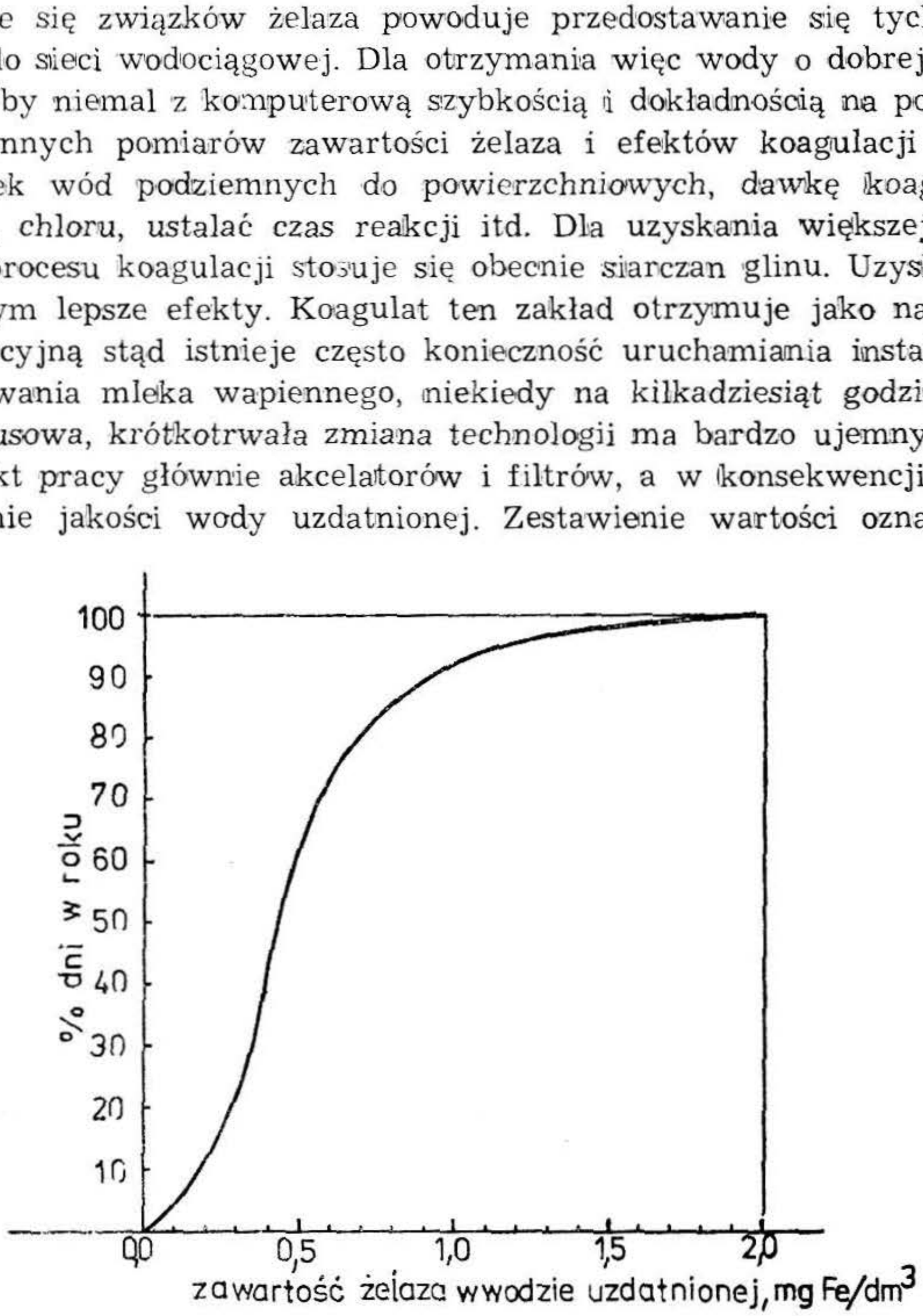
Tabela 1

ZESTAWIENIE ŚREDNICH WARTOŚCI OZNACZEŃ WODY SUROWEJ POWIERZCHNIOWEJ W LATACH 1975—1982

Oznaczenia	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Mętność mg SiO_2/dm^3	5	8	15	10	8	10	11	12
Barwa mg Pt/dm^3	40	30	70	35	30	35	40	36
Zapach	z3R	z3R	z3G	z3R	z3R	z3R	z3R	z3R
Odczyn pH	7,8	7,9	7,4	7,6	7,6	7,7	7,6	7,8
Zasadowość $mVal/dm^3$	3,1	3,2	3,7	3,2	3,3	3,7	3,4	3,5
Chlorki mg Cl/dm^3	32	32	28	33	35		27	36
Utlenialność mg O_2/dm^3	9,4	9,2	18,0	10,4	9,6	8,2	10,8	11,3
Siarczany mg SO_4/dm^3	56	69	57	59	56	76	63	69
Tlen rozpuszczony mg O_2/dm^3	8,2	9,1	2,2	7,6	5,6	8,6	5,4	7,7

dodatkowo, zmienna zawartość związków żelaza w wodzie podziemnej. Wahania te wynoszą obecnie 9÷13 mg Fe/dm^3 wody. W razie potrzeby dodawać trzeba by było siarczan żelazawy. Każde zaburzenie w pracy akcelatorów powoduje zażelazienie wody czystej. Technologia ta wymaga stałego dawkowania mleka wapiennego dla utrzymania optymalnego odczynu wody. Niedomiar jak i nadmiar wapna działa negatywnie na sprawność procesu koagulacji. Nie można stosować stałej dawki wapna jeżeli skład chemiczny wody ulega ciągłym zmianom. Dokładne dawkowanie mleka wapiennego mimo dużych wysiłków obsługi jest trudne, gdyż wapno techniczne zawiera nieraz do 30% i więcej zanieczyszczeń ziarnistych. Mleko wapienne zawiera też zawiesinę $Ca(OH)_2$, która łatwo sedymentuje co utrudnia utrzymanie stałego stężenia mleka. W takich przypadkach należałoby stosować wapno w postaci wody wapiennej. Skład chemiczny i biologiczny wody rzecznej ulega zmianie nie tylko w czasie wiosennych roztopów ale i w czasie każdego ulewnego deszczu, w czasie każdej powodzi, zmiany nieraz następują z godziny na godzinę. Wstępne chlorowanie w przypadku omawianej technologii ma

na celu utlenienie jonów żelazawych na żelazowe, które są lepszymi koagulantami. Ponadto wstępne chlorowanie wody wpływa dodatnio na obniżenie barwy, utlenialności, usunięcie manganu, utlenianie rozmaitych substancji organicznych oraz dezynfekuje wodę. Utlenianie żelaza może zachodzić gdy w wodzie jest wolny chlor. W przypadku wody rzecznej o zmiennym składzie chemicznym, a więc i o zmiennym zapotrzebowaniu chloru może się zdarzyć, że czynnego chloru zabraknie. Niecałkowite utlenienie związków żelaza dwuwartościowego i niecałkowite wytrącenie się związków żelaza powoduje przedostawanie się tych związków do sieci wodociągowej. Dla otrzymania więc wody o dobrej jakości trzeba by niemal z komputerową szybkością i dokładnością na podstawie nieustannych pomiarów zawartości żelaza i efektów koagulacji ustalać stosunek wód podziemnych do powierzchniowych, dawkę koagulantu, wapna, chloru, ustalać czas reakcji itd. Dla uzyskania większej stabilności procesu koagulacji stosuje się obecnie siarczan glinu. Uzyskuje się przy tym lepsze efekty. Koagulat ten zakład otrzymuje jako nadwyżkę produkcyjną stąd istnieje często konieczność uruchamiania instalacji do dawkowania mleka wapiennego, niekiedy na kilkadziesiąt godzin. Taka przymusowa, krótkotrwała zmiana technologii ma bardzo ujemny wpływ na efekt pracy głównie akcelatorów i filtrów, a w konsekwencji na pogorszenie jakości wody uzdatnionej. Zestawienie wartości oznaczeń w



Rys. 2. Krzywa sumowa zawartości żelaza w wodzie uzdatnionej w 1983 r.

Tabela 2

ZESTAWIENIE ŚREDNICH WARTOŚCI OZNACZEŃ W WODZIE UZDATNIONEJ PRZY ZASTOSOWANIU RÓŻNYCH KOAGULANTÓW

Oznaczenie	Siarczan żelazawy + wapno	siarczan glinu
Barwa mg Pt/dm^3	25	9
Zapach	z3S	z3S
Żelazo og. mg Fe/dm^3	1,3	0,3
Odczyn pH	8,3	6,9

wodzie uzdatnionej przy zastosowaniu różnych koagulantów przedstawia tabela 2. Stacja zużywa obecnie około 1200 kg/d siarczanu glinu lub 6000 kg/d wapna oraz 240 do 400 kg/d chloru.

Inne trudności eksploatacyjno-techniczne

Oprócz wypisanych wyżej kłopotów eksploatacyjnych wodociąg posiada wiele problemów natury technicznej. Przede wszystkim należy podkreślić, że parametry pracy większości urządzeń technologicznych przekraczają wartości założone przy projektowaniu. Złe rozwiązanie urządzeń spustowych (małe średnice przewodów) stwarza duże trudności z odprowadzeniem osadu nadmiernego z akcelatora. Raz na kwartał akcelator wyłącza się z eksploatacji i czyści. Jeden z budowanych obecnie akcelatorów stanowić ma obiekt badawczo-eksploatacyjny z dodatkowym wyposażeniem. Jego zadaniem będzie sprawdzenie zaprojektowanego akcelatora z wybranego typoszeregu co pozwoli na zunifikowanie całego szeregu akcelatorów. Kompleksowych badań działania akcelatorów dotychczas nie przeprowadzono. W projektowanym akcelatorze niektóre rozwiązania są prototypowe. Należą do nich pompa-mieszadło, bezstopniowa regulacja obrotów pompy-mieszadła, zmienny zakres wydajności akcelatora. Eksploatacja filtrów również stwarza wiele kłopotów. Przy obecnej wydajności stacji średnio 50.000 m^3/d prędkość filtracji wynosi ponad 10 m/h przy projektowanej 7,5 m/h. Skrócenie cyklu filtracyjnego spowodowało konieczność częstego pułkania filtrów. Filtry płukane są wodą mieszaną ze studni i wodą uzdatnioną, która magazynowana jest w zbiorniku górnym o pojemności 500 m^3. Intensywność płukania maleje w czasie płukania na skutek obniżania się zwierciadła wody w zbiorniku, a ekspansja wynosi tylko kilka procent. Intensywność i czas płukania ograniczony jest ilością wody popłucznej. Przed płukaniem wodą złoże wzruszane jest sprężonym powietrzem przez około 3,0 min. Przy stosowaniu wodorotlenku żelazowego napotyka się w

procesie filtracji wody na większe trudności niż przy wodorotlenku glinowym, gdyż wodorotlenek żelazowy przenika w głąb złoża filtracyjnego i jest trudniejszy do wypłukania. Nie sprawdził się też drenaż szczelinowy zbudowany z żelbetowych beleczek. Niezbyt dokładne wykonanie tych beleczek oraz ich przesuwanie się uniemożliwia utrzymanie żądanej szerokości szczelin na całej długości przestrzeni międzydennej, a przy płukaniu następuje nierównomierny rozdział wody na całą powierzchnię złoża. Powstają strugi wody płuczącej i pozostają miejsca źle wypłukane. Duże ilości żelaza w wodzie podziemnej oraz charakter geologiczny terenu ujęcia stawarzają dogodne warunki dla rozwoju bakterii żelazistych głównie Gallionella sp. i Siderocapsa sp. Bakterie te nieszkodliwe z punktu widzenia epidemiologicznego są uciążliwe dla techniki ujmowania tych wód. Produkty ich metabolizmu wpływają niekorzystnie na własności organoleptyczne wody. Na skutek odkładania się w strefie zafiltrowania osadów, wytrąconego z wody żelaza na drodze biologicznej, zmniejsza się wydajność otworów studziennych. Stosunkowo duże ilości żelaza w wodzie uzdatnionej sprzyjają rozwojowi bakterii żelazowych w rurociągach i sieci wodociągowej, w wyniku czego następuje jej zarastanie. Wskutek zmniejszenia się średnicy czynnej ruociągów oraz zmiany szorstkości ścianek, wzrastają straty ciśnienia w sieci wodociągowej, a w konsekwencji pękanie rurociągów.

Podsumowanie

Przy stosowaniu siarczanu glinu uzyskuje się praktycznie jego mieszaninę z siarczanem żelazawym. Podczas koagulacji koloidowy wodorotlenek glinowy adsorbowany jest przez wodorotlenek żelazowy i następuje ich wspólne kłaczkowanie i wytrącanie. Przy stosowaniu koagulantu mieszanego barwę wody usuwa się lepiej niż przy użyciu soli żelaza i wapna. Uzyskuje się lepsze wyniki przy niskich temperaturach wody, daje lepsze efekty w szerszym zakresie pH, a powstająca zawiesina opada szybciej ze względu na większy ciężar właściwy. Powstające osady zatrzymane w złożu filtracyjnym są łatwiej odpłukiwane biorąc jako kryterium mętność wody w końcowym etapie płukania. Rozpoczęta realizacja III etapu rozbudowy ujęcia pozwala wyrażać nadzieję na poprawę jakości wody dostarczanej dla mieszkańców Zielonej Góry. Urządzenia nie będą przeciążone jak w chwili obecnej co umożliwi lepsze sterowanie ich pracą. Wiele czynności zostanie zautomatyzowanych. Spełniony musi być też warunek zasadniczy, tj. ochrona sanitarna zlewni rz. Obrzycy. Należy również powstrzymać degradację wód rzeki Obrzycy przez wybudowanie bądź szybkie zakończenie rozpoczętych oczyszczalni ścieków w zlewni tej rzeki.

LITERATURA

[1] Kowal A. L. — *Badania nad usuwaniem żelaza i manganu z wody w procesach jej oczyszczania dla celów wodociągowych.* Zeszyt Naukowy Politechniki Wrocławskiej, nr 213, Wrocław 1969.
[2] Kowal A. L. — *Technologia wody.* Arkady, Warszawa 1977.
[3] Kucharczyk J., Moniuszko A. — *Oczyszczanie wód i ścieków przemysłowych metodą koagulacji.* W.N.T., Warszawa 1967.
[4] Praca Zbiorowa — *Opinia o stopniu zasiedlenia mikroorganizmami żelazistymi studni ujęcia wodociągowego w Zawadzie.* I.K.S., Poznań 1977 r.
[5] Praca Zbiorowa — *Badania jakościowe dla ustalenia przyczyn i wielkości zanieczyszczeń wód podziemnych w rejonie Zawada,* I.K.S., Poznań 1972.
[6] Błażejewski M., Zerbe J. — *Badania technologiczne nad poprawą efektów uzdatniania wody na wodociągu Zawada k/ Zielonej Góry.* I.G.K., Poznań 1972.