

Jolanta Maćkiewicz, Andrzej M. Dziubek

Problemy uzdatniania wód powierzchniowych ujmowanych w rejonach podgórskich

Wody o twardości ogólnej w zakresie 5+10 °tw. (ok. 90+180 gCaCO₃/m³) zalicza się do tzw. wód miękkich. W Polsce wody miękkie występują w potokach i rzekach górskich, a także w zbiornikach zaporowych usytuowanych w rejonach podgórskich. Niska zawartość związków wapnia i magnezu w wodach powierzchniowych w tych rejonach wynika z budowy geologicznej podłoża, które jest ubogie w skały osadowe. Jakkolwiek wody ujmowane w rejonach podgórskich dotychczas były synonimem wód czystych, to jednak obecnie obserwuje się zwiększony stopień ich zanieczyszczenia. Ponadto do tych wód wraz z opadami przedostają się zanieczyszczenia atmosferyczne, takie jak związki azotu i siarki, stąd pH wód, np. w Kotlinie Jeleniogórskiej, jest często znacznie niższe od wymaganej wartości dla wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Charakterystyka wód Kotliny Jeleniogórskiej

Wody powierzchniowe w Kotlinie Jeleniogórskiej mają twardość poniżej 6 °tw. (ok. 107 gCaCO₃/m³), co kwalifikuje je do grupy wód miękkich, bardzo niską zasadowość ogólną 0,06+1,1 val/m³ (3+55 gCaCO₃/m³) oraz niskie pH, nawet około 3,5. Twardość niewęglanowa wody stanowi 80+90% jej twardości ogólnej. Wody te są słabo zmineralizowane, jony siarczanowe przeważają nad chlorkowymi, bądź ich zawartość jest tego samego rzędu.

Wody spływające z terenów bagiennych zawierają znaczne ilości związków humusowych, którym nie zawsze towarzyszy wzrost intensywności barwy, natomiast wartości wskaźników organicznych są podwyższone, nieraz nawet znacznie. Wody spływające z terenów skalistych niosą niewielkie ilości zawieszin czy soli mineralnych. Również skażenie bakteriologiczne wód górskich jest znaczne, do czego przyczynia się wypas owiec, jak i niesprawne urządzenia do oczyszczania ścieków, instalowane przy schroniskach w zlewniach rzek i potoków. Stopień zanieczyszczenia wód górskich jest zróżnicowany i zależy od pory roku, przy czym największe zanieczyszczenie wód występuje w okresie opadów wiosennych i jesiennych.

Ujęcia wód z rzek i potoków górskich na ogół mają niewielkie wydajności, znajdują się w trudno dostępnych miejscach, dlatego uzdatnianie tych wód w miarę możliwości prowadzi się w uproszczonych układach technologicznych,

pozwalających na automatyzację stacji oraz zminimalizowanie obsługi.

Charakterystykę wód rozważanych do ujmowania w rejonie Szklarskiej Poręby przedstawiono w tabeli 1. Są to wody klarowne, bardzo miękkie, o niewielkim stopniu mineralizacji i pH leżącym w zakresie kwasowym. Wody te praktycznie pozbawione są buforowości i jednocześnie są silnie korozyjne. Wśród analizowanych wód można wyróżnić wody o niskiej intensywności barwy i niskim poziomie związków organicznych (tab. 1 – poz. 1 i 2) oraz wody o wysokiej intensywności barwy i dużej zawartości związków organicznych (tab. 1 – poz. 3 i 4). Omawiane wody mają w miarę stabilny skład fizyczno-chemiczny. W okresie intensywnych opadów charakteryzują się dodatkowo podwyższoną mętnością.

W rejonie Karkonoszy i Pogórza Sudeckiego występuje wiele potoków i rzek o podobnym składzie fizyczno-chemicznym wody, np. Łomnica, Łomniczka, Kamienna, Kwisa [1]. W sensie technologicznym są to wody trudne do uzdatniania, gdyż wymagają zwiększenia pH, twardości ogólnej i zawartości związków magnezu oraz ograniczenia korozyjności. Poza tym niektóre wody (tab. 1 – poz. 3 i 4) wymagają obniżenia intensywności barwy i zawartości związków organicznych. Podwyższona zawartość związków żelaza w postaci utlenionej nie stwarza problemów w procesach uzdatniania wody.

Możliwości uzdatniania wód miękkich

Technologia uzdatniania wód miękkich na ogół nie jest prosta, ale oczyszczanie wód pozbawionych buforowości jest szczególnie trudne wówczas, gdy w układzie technologicznym wymagane jest stosowanie procesów chemicznych, takich jak koagulacja.

W wypadku wód o niskiej intensywności barwy i niewielkiej zawartości substancji organicznych (tab. 1 – poz. 1 i 2) najczęściej wystarcza zastosowanie filtracji pospiesznej i dezynfekcji, w związku z czym znaczna część stacji uzdatniania wód górskich w ten sposób dotychczas je uzdatnia. Problem pojawia się podczas opadów, gdy wzrasta mętność wody, wówczas proces filtracji nie wystarcza do jej skutecznego zmniejszenia. Włączenie do układu technologicznego procesu koagulacji wprawdzie poprawia efekty uzdatniania wody, ale nie zawsze są one wystarczające. Z uwagi na niską buforowość wody zawsze dąży się do zminimalizowania dawek koagulantu i proces koagulacji prowadzi się w złożach filtracyjnych (filtry kontaktowe).

Odmienne technologicznie wody o dużej intensywności barwy i zwiększonej zawartości substancji organicznych (tab. 1 – poz. 3 i 4) wymagają ciągłego stosowania procesów

Tabela 1. Charakterystyka wód z potoków górskich (wartości przeciętne)

Wskaźnik, jednostka	Woda powierzchniowa Białka (1)	Woda drenażowa Łabski Szczyt (2)	Woda powierzchniowa Wysoki Kamień (3)	Woda powierzchniowa Kamierczyk (4)
Mętność, NTU	0,4	0,3	0,7	0,8
Barwa, gPt/m ³	14	5	70	50
pH, –	6,0	5,2	5,1	5,2
Zasadowość ogólna, val/m ³	0,2	0,1	0,1	0,1
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	18	12	11	9
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,07	0,04	0,36	0,18
Mangan, gMn/m ³	0,02	0,03	0,05	0,07
Azot amonowy, gN/m ³	0,10	0,08	0,10	0,10
Azotyiny, gN/m ³	0,002	0,003	0,001	0,002
Azotany, gN/m ³	0,40	0,60	0,68	0,24
Utlenialność, gO ₂ /m ³	3,8	2,1	14,0	10,4
Ciała rozpuszczone, g/m ³	50	39	53	43
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	8,0	8,0	9,0	8,0
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	10,0	8,0	7,0	5,0
Przewodność właściwa, μS/cm	50,7	34,2	30,1	22,4
Wapń, gCa/m ³	5,0	3,6	2,9	2,5
Magnez, gMg/m ³	1,3	0,8	0,8	0,6
Sód, gNa/m ³	5,5	5,0	5,0	5,0
Potas, gK/m ³	0,6	0,6	0,6	0,5

typowych dla wód powierzchniowych, pozwalających na zmniejszenie zawartości zanieczyszczeń występujących w formach koloidalnych i rozpuszczonych. Podstawowym procesem w oczyszczaniu takich wód powierzchniowych jest koagulacja. Właściwy przebieg tego procesu wymaga neutralizacji kwasów powstałych podczas hydrolizy koagulantu, co w wypadku wód pozbawionych buforowości nie zachodzi skutecznie. Dlatego wody miękkie wymagają podwyższenia zasadowości przed dodaniem koagulantu, np. stosując do tego celu wapno bądź ług sodowy, jednakże stosowanie zasad jest często utrudnione, z uwagi na łatwość miejscowego przealkalizowania wody.

W badaniach technologicznych uzdatniania wody o dużej intensywności barwy (tab. 1 – poz. 3) przeprowadzono testy koagulacji siarczanem glinu (Al₂(SO₄)₃·18H₂O) w dawkach 20÷120 g/m³, z użyciem wapna w ilości 10÷32 gCaO/m³. Zmniejszenie intensywności barwy wody poniżej 15 gPt/m³ i utlenialności poniżej 5 gO₂/m³ uzyskano dopiero przy dawce koagulantu 100 g/m³ i wapna 28 gCaO/m³. Uzdatniona w ten sposób woda miała pH=8,0, jej twardość ogólna wynosiła 3,1 °tw. (ok. 55 gCaCO₃/m³), a zawartość związków magnezu – 0,6 gMg/m³ (tab. 2).

Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 19 listopada 2002 r. (Dz. U. nr 203, poz. 1718, zał. 2), twardość wody (a zwłaszcza zawartość związków magnezu) wymaga jeszcze zwiększenia. Jest to możliwe do osiągnięcia, tym bardziej, że satysfakcjonującą jakość wody (z wyjątkiem zawartości magnezu) uzyskano przy dawce koagulantu 120 g/m³ i wapna 32 gCaO/m³ (pH=8,0, barwa 5 gPt/m³, mętność 0,3 NTU, utlenialność 3,4 gO₂/m³, twardość ogólna 3,6 °tw., magnez 0,6 gMg/m³). Tak uzdatniona woda zawierała agresywny dwutlenek węgla w ilości poniżej 2 gCO₂/m³. Wysoka dawka koagulantu wpływa również na wzrost stopnia mineralizacji wody, co dla wody o niskiej twardości węglanowej jest korzystne, gdyż możliwy jest wówczas wzrost stopnia

usuwania zanieczyszczeń [2]. Występowanie podwyższonej mętności wody jest czynnikiem usprawniającym jej uzdatnianie w tej technologii, gdyż cząstki powodujące mętność wody – jako naturalny obciążnik kłaczków – wspomagają proces koagulacji. Prace badawcze nad usprawnieniem koagulacji w układach oczyszczania wód miękkich zmierzają do stosowania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych, co znacznie ogranicza konieczność alkalizowania wody. Wskazuje się też na możliwość skutecznego zmniejszenia zawartości substancji organicznych w wodach miękkich w procesie koagulacji poprzedzonej wstępnym utlenianiem, prowadzonej w reżimie optymalnego pH [3].

Innym kierunkiem pojawiającym się w oczyszczaniu wód miękkich jest eliminacja procesu koagulacji, natomiast zaleca się saturację dwutlenkiem węgla i filtrację przez złoża dolomitowe (np. dofiltr) [1,3]. Technologia ta została zweryfikowana dla wody z Kwisy, a więc o bardzo zbliżonym składzie do wód omawianych w niniejszej pracy. Uzdatnianie wody na złożu dolomitowym o wysokości 1,2 m z prędkością filtracji 5÷15 m/h, z jednoczesnym dawkowaniem dwutlenku węgla w ilości 50÷100 gCO₂/m³, umożliwiło zmniejszenie utlenialności wody o 80% i intensywności barwy o 55%. Główną zaletą tej metody jest wzbogacenie wody w związki magnezu, przy czym udział twardości magnezowej w przyroście twardości ogólnej wynosi ok. 80%. Wzrost twardości i zasadowości wody oraz zwiększenie jej pH związane są z reakcjami dwutlenku węgla ze składnikami złoża. Badania wykazały, że możliwe jest wprowadzenie do tego układu technologicznego procesu utleniania nadmanganianem potasu (przed filtracją na złożu dolomitowym), co skutecznie podnosi efekty uzdatniania wody [1].

W krajach rozwijających się do oczyszczania wód powierzchniowych zawierających znaczne ilości zawieszin, a także mających wysoką mętność i intensywność barwy, proponuje się bezreagentową metodę polegającą na filtracji powolnej

Tabela 2. Efekty koagulacji domieszek wody (4) siarczanem glinu wraz z korektą pH

Dawka koagulantu, g/m ³	0	20	30	50	80	100	120
pH,–	5,2	5,0	4,8	4,7	4,5	4,5	4,4
Dawka wapna, gCaO/m ³	0	10	12	17	24	28	32
pH po korekcie,–	5,2	8,3	8,3	8,2	8,3	8,0	8,0
Barwa, gPt/m ³	50	50	50	20	15	10	5
Mętność, NTU	0,8	1,1	1,2	0,6	0,5	0,3	0,3
Utlenialność, gO ₂ /m ³	10,4	9,7	9,2	6,4	5,9	4,5	3,4
Zasadowość ogólna, val/m ³	0,1	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	9,0	26	29	37	47	55	64
Wapń, gCa/m ³	2,5	9,3	10,7	13,6	17,9	20,7	24,6
Magnez, gMg/m ³	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

z prędkością 0,1 m/h, poprzedzonej oczyszczaniem wstępnym w procesie filtracji horyzontalnej (HRF – Horizontal Roughing Filter) [5,6]. Zasada działania tych filtrów polega na poziomym przepływie wody przez trójkomorowy zbiornik, w którym każda komora wypełniona jest złożem piaskowym o różnicowanym uziarnieniu od 4 mm do 32 mm. Przeciętne parametry filtru horyzontalnego są następujące: długość 5+9 m, szerokość 2,25 m, wysokość złoża 1,5 m, prędkość filtracji 0,3+1,5 m/h. W filtrach horyzontalnych, podobnie jak w filtrach powolnych, za efekty oczyszczania wody – oprócz mechanizmu cedzenia – odpowiedzialne są mikroorganizmy rozwinięte w złożu. Układ technologiczny zastosowany do oczyszczania bardzo zanieczyszczonej wody pozwolił na zmniejszenie liczebności glonów o co najmniej dwa rzędy wielkości, a także intensywności barwy ze 130 gPt/m³ do 17 gPt/m³, mętności z 22 NTU do 1,9 NTU oraz liczby bakterii z grupy *coli*, przy czym cykl filtracji trwał kilka miesięcy [5]. Z badań nad przydatnością różnych materiałów filtracyjnych w procesie HRF wynika, że zadowalające efekty zmniejszenia mętności wody z ok. 150 NTU do poniżej 1 NTU w układzie filtracja wstępna i filtracja powolna uzyskano stosując rzeczny żwir bazaltowy, węgiel wapnia oraz kruszywo bazaltowe wzbogacone w węgiel wapnia [6].

Technologia ta może być rozważana w oczyszczaniu wód pozbawionych buforowości, gdyż nie wymaga stosowania chemikaliów. Filtry powolne, dla zintensyfikowania usuwania związków organicznych, można zmodyfikować uzupełniając złożę wkładką z węgla aktywnego. Woda uzdatniana w układzie filtracja horyzontalna i filtracja powolna, w końcowym etapie będzie wymagać jeszcze stabilizacji chemicznej, a przede wszystkim uzupełnienia związkami magnezu. Wadą tej metody jest znaczny obszar terenu wymagany pod urządzenia, co w terenie górskim i skalistym może być barierą nie do pokonania. Do wad metody należą także operacje związane z okresowym czyszczeniem filtrów horyzontalnych i powolnych, wymagających dużych nakładów pracy, gdyż operacje te nie zostały dotychczas zmechanizowane. Również w okresach niskich temperatur procesy biologiczne, uczestniczące w oczyszczaniu wody, ulegają zahamowaniu i wydaje się, iż jest to właściwy powód, dla którego w kraju nie obserwuje się zainteresowania tą technologią oczyszczania wody.

Bardziej obiecującą i mniej kłopotliwą w eksploatacji wydaje się być nowa technologia usuwania związków organicznych na mikroporowatych namagnetyzowanych żywicach anionowymiennych MIEX-DOC® [7]. Żywica MIEX® wymienia obecne w wodzie cząsteczki rozpuszczonego węgla

organicznego na jony chlorkowe, co sprawia, iż zawartość związków organicznych w wodzie maleje, przy nieznacznym wzroście zawartości chlorków. Wstępne badania przeprowadzone na wodzie o wysokiej barwie (tab. 1, poz. 4) dla dawek żywicy MIEX® w zakresie 5+20 dm³/m³ wykazały, że dawka optymalna dla badanej wody wynosiła 5 dm³/m³, przy której uzyskano obniżenie utlenialności wody z 10,4 gO₂/m³ do 2,7 gO₂/m³ oraz intensywności barwy z 50 gPt/m³ do 5 gPt/m³. Mętność wody po procesie wynosiła ok. 1 NTU, twardość ogólna pozostała bez zmian, a pH wzrosło z 5,2 do 5,9 (tab. 3).

Tabela 3. Efekty uzdatniania wody (4) na żywicy MIEX®

Dawka żywicy, dm ³ /m ³	0	5	10	20
pH,–	5,2	5,9	5,9	5,8
Barwa, gPt/m ³	50	5	5	5
Mętność, NTU	0,8	1,0	1,2	1,1
Utlenialność, gO ₂ /m ³	10,4	2,7	2,3	2,1
Zasadowość ogólna, val/m ³	0,1	0,1	0,1	0,1
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	9	9	9	9
Przewodność właściwa, μS/cm	22,4	36,0	32,8	33,3

Woda w dalszym ciągu będzie wymagała stabilizacji chemicznej, co jest już dużo łatwiejsze do przeprowadzenia dla wody pozbawionej znacznego ładunku zanieczyszczeń organicznych. Osobnym zagadnieniem jest regeneracja zużytej żywicy i w związku z tym unieszkodliwienie roztworów poregeneracyjnych (solanki), nawet z włączeniem do technologii odzysku środka regeneracyjnego.

Podsumowanie

Wody powierzchniowe w rejonie Pogórza Sudeckiego należą do wód miękkich i pozbawionych buforowości. Poziom ich zanieczyszczenia jest różny, od wód czystych do wód o wysokiej barwie i mętności oraz zwiększonej zawartości związków organicznych.

Uzdatnianie wód miękkich, wymagających w konwencjonalnych układach technologicznych stosowania procesu koagulacji, nastęrcza dużo trudności, przede wszystkim z uwagi na chemizm procesu. W związku z tym stale poszukiwane są nowe technologie, które usprawnią proces oczyszczania takich wód. Do obiecujących technologii zaliczyć można metodę opartą na zastosowaniu żywicy anionowymiennych, a także metodę wykorzystującą w procesie filtracji złoża alkaliczne.

LITERATURA

1. T. KOWALSKI: Zastosowanie dolomitów do uzdatniania wód. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
2. J. MAĆKIEWICZ: Wpływ zasolenia wód miękkich na skuteczność procesu koagulacji. *Ochrona Środowiska*, 1991, nr 2, ss. 15–17.
3. J. GUMIŃSKA: Zastosowanie wstępnego utleniania i korekty pH do usuwania substancji organicznych z wód miękkich. *Ochrona Środowiska*, 2004, nr 4, pp. 9–12.
4. T. KOWALSKI: Oczyszczanie wód kwaśnych i miękkich na złożach dolomitowych. *Gaz, Woda i Techn. Sanit.*, 1992, nr 8, ss. 197–200.
5. M. WEGELIN, R. SCHERTENLEIB, M. BOLLER: The decade of roughing filters – development of a rural water treatment process for developing countries. *Journal of Water Supply Research and Technology AQUA*, 1991, Vol. 40, No. 5, pp. 304–316.
6. S. J. ROOKLIDGE, L. H. KETCHUM: Calcite-amended horizontal roughing filtration for clay turbidity removal. *Journal of Water Supply Research and Technology AQUA*, 2002, Vol. 51, pp. 333–342.
7. M. SLUNJSKI, A. BIHYK, K. CELER: Usuwanie substancji organicznych z wody na mikroporowatych namagnetyzowanych żywicach anionowych MIEX[®]. *Ochrona Środowiska*, 2004, nr 2, ss. 11–14.

Maćkiewicz, J., Dziubek, A. M. Technological Problems Faced During Treatment of Soft Surface Waters in the Piedmont Area of South Poland. *Ochrona Środowiska* 2004, Vol. 26, No. 4, pp. 17–20.

Abstract: The treatment of low-hardness water (below appr. 180 gCaCO₃/m³), *i.e.* soft water, raises many technological problems, resulting from a poor buffering. The surface waters reported on in this paper come from the Sudeten Piedmont Region and are characterized by a relatively low turbidity, as well as an increased coloured matter content and a high organic substances concentration. In this study, particular consideration

was given to the technological problems that arise from the chemistry of soft water coagulation. Treatment methods were discussed (with emphasis on those for water with increased organic matter content), such as coagulation in filter beds, slow filtration with the HRF process as a prior step, or the MIEX-DOC[®] technology involving magnetized anion-exchange resins. Potential applications of technological trains with no coagulation process were analyzed, and the implications of using modified treatment technologies were considered.

Keywords: Soft water, buffering, pH adjustment, water treatment, NOM removal.