

**Apolinary L. Kowal**  
**Tadeusz Kowalski**

## OCZYSZCZANIE WÓD MIĘKKICH Z POTOKÓW GÓRSKICH

Potoki górskie, będące dotąd synonimem czystych wód obecnie przestają być takimi. Sprawili to wzmożony ruch turystyczny oraz zanieczyszczenia atmosferyczne. Schroniska i osiedla położone w górach, obsługujące coraz większą liczbę turystów odprowadzają do wód płynących duże ładunki zanieczyszczeń organicznych. Obiekty te są wyposażone zazwyczaj w proste urządzenia do oczyszczania ścieków (najczęściej osadniki gnilne), które często nie spełniają swojej roli, gdyż są zwykle przeciążone oraz niewłaściwie eksploatowane. Wody deszczowe zawierają rozpuszczone związki azotu i dwutlenek siarki. Stąd ich odczyn jest często kwaśny — dotyczy to szczególnie wód opadowych w rejonie Karkonoszy [1].

Wody potoków górskich swym składem fizyczno-chemicznym różnią się znacznie od wód nizinnych. Skład ten zależy w dużym stopniu od rodzaju zlewni i jest ubogi pod względem różnorodności składników. Wody spływające np. z terenów bagiennych zawierają znaczne ilości związków humusowych, a z terenów skalistych niewielkie ilości zawiesin czy soli mineralnych. Charakteryzują się one niską temperaturą w dłuższym okresie roku (271,5÷291 K), małą zawartością związków mineralnych (ciała rozpuszczone 35÷264 g/m<sup>3</sup>), niską twardością (0,19÷4°tw) i zasadowością (0÷52 g CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>); ich pH waha się w granicach 3,2÷7,3. Wody te mają zmienną zawartość związków organicznych: utlenialność 1,6÷18,6 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, BZT<sub>5</sub> 0,4÷24 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, ChZT 4,2÷40,0 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> i skażone są bakteriologicznie — miano coli wynosi 0,00004÷50. W tabeli 1 przedstawiono szczegółowe dane dotyczące składu wód z wybranych potoków w Sudetach.

Zanieczyszczenie tych wód sprawia, że ich użycie do celów komunalnych wymaga często oczyszczania w pełnym układzie technologicznym, składającym się z koagulacji i filtracji, sorpcji oraz dezynfekcji.

Ujęcia wód z potoków górskich są najczęściej niewielkie i znajdują się w trudno dostępnych miejscach. Dlatego pożądane jest, aby były to obiekty w miarę zautomatyzowane, nie wymagające stałej, wysoko kwalifikowanej obsługi. Z tego powodu stacja uzdatniania wody z pełnym fizyczno-chemicznym układem technologicznym byłaby uciążliwa w eksploatacji i przypuszczalnie nie pozwoliłaby na uzyskanie spodziewanych efektów.

Niska zasadowość i pH wody utrudniają, a niekiedy uniemożliwiają przeprowadzenie procesu koagulacji [2]. Dawkowany do wody koagulant ulega hydrolizie, a wydzielony kwas reaguje z wodorowęglanami obecnymi w wodzie, zmniejszając tym samym jej zasadowość (np. 1 g Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18 H<sub>2</sub>O powoduje spadek zasadowości o 0,45 g CaCO<sub>3</sub>). Dlatego woda oczyszczana metodą koagulacji powinna charakteryzować się odpowiednio wysoką zasadowością. Do wód o zbyt niskiej zasadowości należy dawkować wodorotlenek wapniowy.

Na wyniki koagulacji ma również wpływ obecność innych anionów i kationów; zbyt niskie stężenie np. siarczanów [3] może wydłużyć znacznie czas flokulacji, co wyklucza stosowanie tego procesu. Zjawisko takie zaobserwowano w przypadku wód Kwisy. Mimo utrzymywania wymaganego odczynu przy pomocy wodorotlenku wapniowego, w wielu wypadkach nie stwierdzono powstawania kłaczków [4].

W niniejszej pracy przedstawiono nową technologię oczyszczania wód kwaśnych i miękkich, mającą zastosowanie do uzdatniania zanieczyszczonych wód górskich. Polega ona na dawkowaniu do wody dwutlenku węgla i jej filtracji przez masę dofiltr [5].

Tabela 1

Charakterystyka wód potoków górskich

Wskaźnik	Jednostka	Łomnica	Kamienna	Kwisa
Temperatura	K	273—291	271,5—288,5	—
Mętność	g/m <sup>3</sup>	0—20	0—30	0—10
Barwa	g Pt/m <sup>3</sup>	5—30	5—60	5—25
Zapach	—	z1R, z2R	z1R, z3S	z3R, z3S
pH	—	4,3—7,3	3,2—7,0	4,0—6,9
Tlen rozp.	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	8,2—12,1	8—12,0	7,8—11,0
Nasylenie tlenem	%	62—96,5	61,5—107,6	—
BZT <sub>5</sub>	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1,4—24,0	1,2—12	2,4—9,1
Utlenialność	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1,7—9,0	1,6—18,6	2,5—8,40
Azot amonowy	g N/m <sup>3</sup>	0,0—1,32	0,0—1,03	0,10—0,20
Indeks stabilności	—	1,44—6,7	1,85—8,0	3,1—6,3
Chlorki	g Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup>	5—29	3,2—45,0	2,0—9,0
Fosforany	g PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /m <sup>3</sup>	0,0—1,03	0,0—0,93	ślady
Siarczany	g SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /m <sup>3</sup>	9,0—59,5	13—69,1	7,8—60,0
Żelazo	g Fe/m <sup>3</sup>	0,0—0,45	0,03—1,62	0,07—0,14
Zasadowość	g CaCO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>	3,5—52,0	1,5—42,0	0,0—10,0
Twardość	°tw	0,19—2,48	0,32—4,0	0,8—1,7
Mangan	g Mn/m <sup>3</sup>	—	—	0,03—0,27
Kwasowość	g CaCO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>	0,15—9,0	3,0—23,5	5,5—17,0
Sucha pozostałość	g/m <sup>3</sup>	68—409	98—339	—
Ciała rozpuszczalne	g/m <sup>3</sup>	66—216	88—264	35—89
Zawiesiny	g/m <sup>3</sup>	1—33	2—64	—
Miano coli	—	0,008—2	0,00004—2,0	10 <sup>-1</sup> > 50
Liczba kol. bakt. w 293 K w 1 cm <sup>3</sup>	—	—	—	143—2600
Liczba kol. bakt. w 310 K w 1 cm <sup>3</sup>	—	—	—	0,0—114
CO <sub>2</sub> wolny	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	8,2—46	100	—
ChZT	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	7,8—40,0	4,2—40	—

Prof. dr hab. inż. A. L. Kowal, doc. dr hab. inż. T. Kowalski: Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wyb. S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

## Metodyka badań

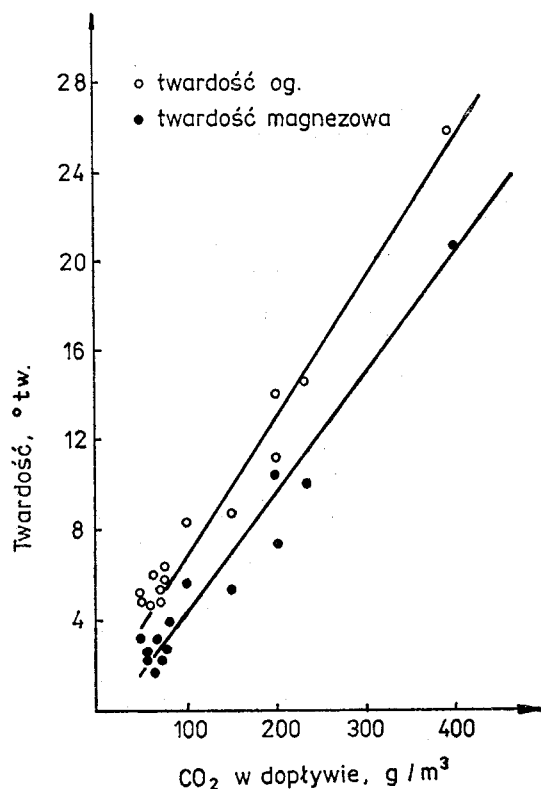
Do wody wprowadzano wodny roztwór dwutlenku węgla w ilości do 400 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, a następnie filtrowano przez masę dofiltr. Wysokość złoża wynosiła 120 cm, średnica filtru 4 cm, a uziarnienie złoża od 0,5 do 7 mm, prędkość filtracji 5÷15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h. Do wody przed filtrem dawkowano także chlor w ilości 1÷5 g Cl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Badania przeprowadzono na wodzie z Kwisy (powyżej Świeradowa). Skład fizyczno-chemiczny tej wody przedstawiono w tabeli 1. W wodzie wykonywano następujące oznaczenia: pH, twardość ogólna, zasadowość, utlenialność, barwa, stężenie wapnia, magnezu i manganu oraz okresowo stężenia metali ciężkich, takich jak ołów, miedź, cynk, nikiel, chrom, kobalt oraz wykonywano analizę bakteriologiczną.

## Wyniki badań

Badania wykazały, że podczas filtracji wody przez złożo dofiltr przebiegają zjawiska fizyczne i chemiczne, których wynikiem jest wzrost zasadowości, twardości i zmiana odczynu wody. W złożu zachodzą również procesy sorpcji zanieczyszczeń organicznych, powodujące zmniejszenie utlenialności i barwy wody.

W wyniku przebiegających reakcji dwutlenku węgla ze złożem następuje wzrost twardości i zasadowości wody (rys. 1 i 2). Twardość i zasadowość wody po filtracji zależą od dawki dwutlenku węgla i prędkości filtracji. Wielkość przyrostu twardości ogólnej maleje wraz ze wzrostem prędkości filtracji i wy-



Rys. 1. Wpływ dawki dwutlenku węgla na twardość wody podczas filtracji przez masę dofiltr ( $V_f = 10$  ml/h)

Przyrost twardości wody podczas filtracji przez masę dofiltr

Przyrost twardości °tw/mgCO <sub>2</sub>	Prędkość filtracji, m/h			Przyrost twardości wg reakcji:			
	5	10	15	(2)	(3)	(4)	(5)
Wapniowej	0,035	0,025	0,025	—	0,127	—	—
Magnezowej	0,05	0,043	0,032	0,063	—	0,127	0,081
Ogólnej	0,085	0,068	0,057	0,063	0,127	0,127	0,081
Wapniowej	0,012	0,0089	0,0089	—	0,045	—	—
Magnezowej	0,0178	0,015	0,011	0,022	—	0,045	0,045
Ogólnej	0,030	0,024	0,020	0,022	0,045	0,045	0,045
Wapniowej	0,24	0,178	0,179	—	0,90	—	—
Magnezowej	0,21	0,18	0,132	0,272	—	0,54	0,54

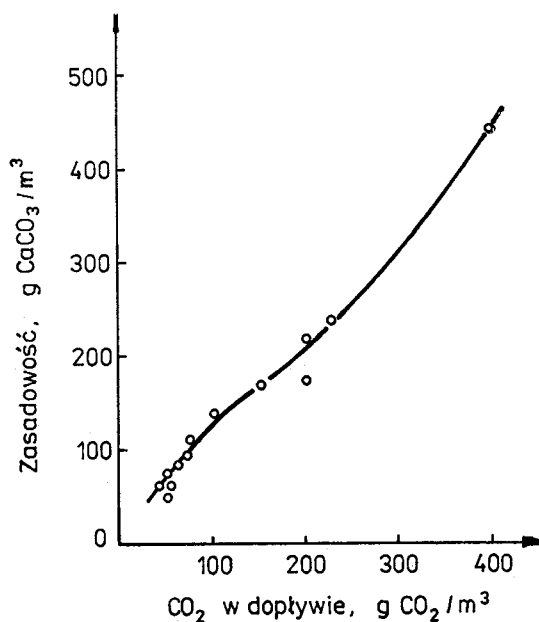
nosi np. 0,085 °tw/mg CO<sub>2</sub> dla  $V_f = 5$  m/h oraz 0,057 °tw/mg CO<sub>2</sub> dla  $V_f = 15$  m/h (tab. 2).

Główny udział w przyroście twardości stanowi twardość magnezowa (60÷80%). Wzrost zasadowości zależy głównie od dawki dwutlenku węgla (w małym stopniu od prędkości filtracji) i wynosi około 1,13 g CaCO<sub>3</sub>/g CO<sub>2</sub>.

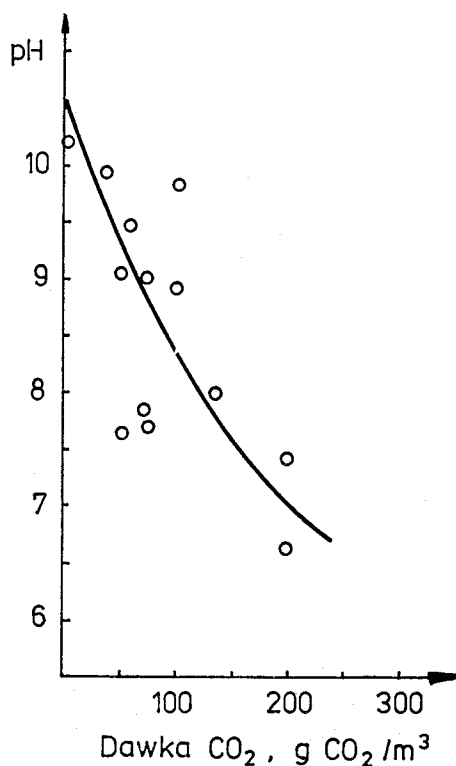
Prędkość filtracji oraz dawka dwutlenku węgla mają wpływ na odczyn odpływu. W przypadku, gdy do wody nie dawkowano dwutlenku węgla, pH wahało się w granicach 9,5÷10,5, w zależności od prędkości filtracji. Wraz ze wzrostem dawki dwutlenku węgla odczyn wody malał (rys. 3).

Stężenie dwutlenku węgla oraz forma jego występowania w odpływie zależy również od jego dawki (rys. 4). Dla dawek dwutlenku węgla w granicach 50÷100 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> obserwuje się niewielkie ilości dwutlenku węgla agresywnego w odpływie.

Podczas filtracji przez masę dofiltr następuje również usuwanie zanieczyszczeń organicznych. Skuteczność ich usuwania zależy od prędkości filtracji. Stopień zmniejszenia utlenialności wahał się od ok. 60% dla  $V_f = 4$  m/h i 50% dla  $V_f = 16$  m/h. W wyniku



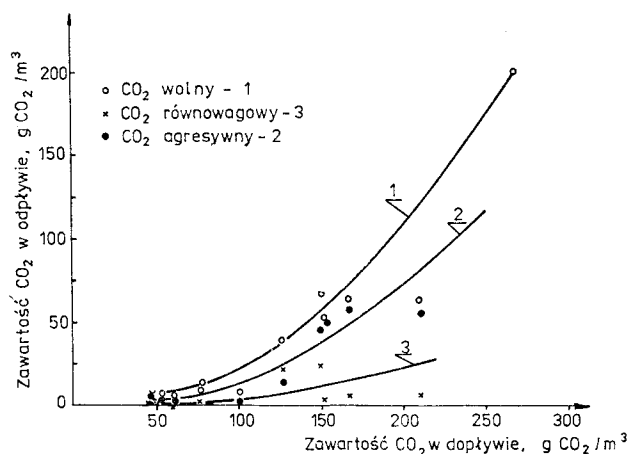
Rys. 2. Wpływ dawki dwutlenku węgla na zasadowość wody podczas filtracji przez masę dofiltr ( $V_f = 10$  ml/h)



Rys. 3. Wpływ dawki dwutlenku węgla na pH odpływu z filtru z masą dofiltr ( $V_f = 5 \text{ ml/h}$ )

kontaktu wody ze złożem następuje również usuwanie zanieczyszczeń barwnych. Barwa wody zmniejszała się np. z  $25 \text{ g Pt/m}^3$  do  $5 \text{ g Pt/m}^3$ .

Badania wykazały, że w celu właściwej eksploatacji omawianego układu oczyszczania wody należy przed filtrem dawkować chlor w celu dezynfekcji oraz zapobieżenia rozwojowi mikroorganizmów w złożu (głównie grzybów). Dawka chloru w granicach  $2 \div 5 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$  pozwoliła na uzyskanie wymaganego stopnia dezynfekcji. Wyższe dawki chloru (ok.  $5 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$ ) wymagane są w okresie późnej jesieni, zimy i wczesnej wiosny. Dawkowanie chloru umożliwia również prowadzenie procesu odmanganiania. Stężenie manganu w badanej wodzie wahało się w granicach  $0,03 \div 0,18 \text{ g Mn/m}^3$ . Po filtracji z chlorowaniem zawartość manganu była poniżej  $0,1 \text{ g Mn/m}^3$ .



Rys. 4. Wpływ dawki dwutlenku węgla na jego zawartość w odpływie z filtru z masą dofiltr

## Dyskusja wyników

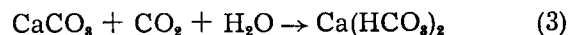
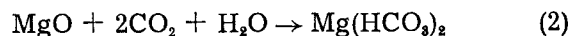
Podczas filtracji wody saturowanej dwutlenkiem węgla przez masę dofiltr przebiegają, obok znanych zjawisk związanych z reakcjami dwutlenku węgla ze złożem, także procesy sorpcji. Przeprowadzone badania wykazały, że masa dofiltr charakteryzuje się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi w stosunku do zanieczyszczeń organicznych. Zmniejszenie utlenialności wynosiło średnio ok.  $55\%$ , a barwy wody  $75 \div 80\%$ . Filtracja wody w podobnych warunkach przez dolomit nie prażony pozwalała na zmniejszenie utlenialności tylko o  $15 \div 20\%$  [4].

Dobre właściwości sorpcyjne dolomitu związane są z jego dekarbonizacją, w wyniku czego następuje wytworzenie się szeregu porów, na skutek wydzielania się dwutlenku węgla — reakcja (1), a tym samym dużej powierzchni właściwej. Podobny efekt występuje podczas pracy złoża, a związany jest on z reakcjami dwutlenku węgla z masą dofiltr — reakcje (2)–(4). Zanieczyszczenia organiczne osadzone są na powierzchni kryształów węglanu wapnia, które w miarę rozpuszczania się tlenku magnezu ulegają stopniowemu rozdrobnieniu i następnie usuwane są ze złoża podczas kolejnych płukań. Wzrost twardości, zasadowości i zmiana odczynu związane są z reakcjami dwutlenku węgla ze złożem.

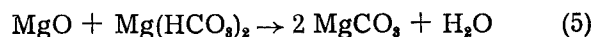
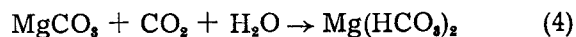
Masa dofiltr jest otrzymywana w procesie częściowej dekarbonizacji dolomitu w temp.  $873 \div 1125 \text{ K}$  w atmosferze dwutlenku węgla, co opisuje reakcja:



W złożu dofiltr przebiegają następujące reakcje:



W przypadku niższych prędkości filtracji lub małych dawek dwutlenku węgla ( $\text{pH}$  odpływu  $> 8,3$ ) przebiegać będą również reakcje:



W wyniku omawianych reakcji następuje wzbogacenie ujmowanych wód w wapń i magnez. Pierwiastki te mają bardzo istotne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego. Dzielne zapotrzebowanie na wapń i magnez wynosi odpowiednio:  $0,8 \div 1,2 \text{ g}$  i  $1 \div 1,4 \text{ g}$  dla dorosłego człowieka, a dla dzieci  $0,4 \div 0,6 \text{ g}$  i  $0,5 \div 0,7 \text{ g}$  [6]. Zalecane przez Światową Organizację Zdrowia stężenie magnezu w wodzie wynosi w zakresie  $30 \div 125 \text{ g Mg/m}^3$ . W przypadku, gdy stężenie siarczanów przekracza  $250 \text{ g SO}_4^{2-}/\text{m}^3$ , zawartość magnezu nie powinna przekraczać  $30 \text{ g Mg/m}^3$  [7].

W procesie filtracji wody nasyconej dwutlenkiem węgla przez złożę z masy dofiltr usuwany jest również mangan pod warunkiem, że woda jest wcześniej chlorowana. Konieczność chlorowania w tym przypadku związana jest z obecnością zanieczyszczeń organicznych [2].

## Wnioski

1. Przedstawiony układ technologiczny polegający na filtracji wody saturowanej dwutlenkiem węgla przez masę dofiltr pozwala na oczyszczenie wód miękkich i kwaśnych. Ma to duże znaczenie technologiczne, gospodarcze oraz zdrowotne, gdyż uzdatnianie tych wód klasycznymi metodami, polegającymi na koagulacji i filtracji, jest bardzo trudne i kosztowne.

2. Masa dofiltr charakteryzuje się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi, które w omawianym procesie pozwalają na zmniejszenie utlenialności wody średnio o 55<sup>0</sup>/<sub>0</sub> i barwy w granicach 75÷80<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

3. Proces ten pozwala na wzbogacenie oczyszczanych wód miękkich w wapń i magnez, co ma duże znaczenie zdrowotne.

## LITERATURA

1. A. L. KOWAL, T. KOWALSKI: Analiza wpływu ścieków na właściwości biochemiczne i fizyczno-chemiczne wód potoków górskich. Mat. IX sem. „Ochrona Środowiska Obszarów Rekreacyjnych i Chronionych”, PZITS, Kraków 1989.
2. A. L. KOWAL: Technologia wody. Arkady, Warszawa 1977.
3. J. MAĆKIEWICZ: Flokulacja w procesach koagulacji i filtracji wód. PWN, Warszawa 1987.
4. A. L. KOWAL, T. KOWALSKI: Badania fizyczno-chemiczne i technologiczne wód rzeki Kwisy dla zaopatrzenia Świeradowa. Raporty Inst. Inż. Ochr. Środow. P. Wr., seria SPR, nr 61/87.
5. **Zgłoszenie patentowe nr P-264516.**
6. J. ALEKSANDROWICZ, I. GUMOWSKA: Kuchnia i medycyna. Warta, Warszawa 1985.
7. **Drinking water and health.** National Academy of Sciences, Washington D.C., 1977.

---

**TREATMENT OF SOFT WATER FROM CREEKS AND TORRENTS**

*A treatment method for acidic and soft waters is presented. The method involves filtration of water saturated with gaseous carbon dioxide through a partially slaked dolomite bed. The treatment of samples from the headwater*

*section of the Kwisa River by using this method yielded fairly good removal efficiencies of organics (which averaged 60% and 85% for COD and colour, respectively), iron and manganese. A major advantage of using this treatment method is the calcium-magnesium-enrichment of the effluent. In this region, creeks and torrents carry very soft and low pH water.*