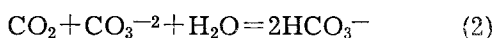


MOŻLIWOŚCI ODKWASZANIA WODY W URZĄDZENIU WIELOFUNKCYJNYM

Zbadano przydatność urządzenia wielofunkcyjnego do odkwaszania wody w warunkach laboratoryjnych. Stwierdzono, że w tym urządzeniu można przeprowadzać odkwaszanie mechaniczne i chemiczne wody o różnej zawartości dwutlenku węgla. Urządzenie strumienicowe nadaje się także do nagazowywania wody dwutlenkiem węgla.

Odkwaszanie wody, tj. usuwanie z niej składników kwaśnych, głównie dwutlenku węgla ma na celu pozbawienie wody właściwości agresywnych, a więc zabezpieczenie przewodów oraz urządzeń przed korozją i pogorszeniem się jakości wody [1]. Usuwanie wolnego (agresywnego) dwutlenku węgla z wody można przeprowadzić metodami fizycznymi i chemicznymi. Odkwaszanie mechaniczne polega na rugowaniu dwutlenku węgla z wody za pomocą intensywnego napowietrzania. Podczas kontaktu wody z powietrzem zachodzi wydzielanie się CO_2 do powietrza, co pociąga za sobą wyrównanie ciśnienia cząstkowego tego gazu w wodzie i w powietrzu. Sposoby mechanicznego usuwania CO_2 są stosowane do wód o zasadowości ogólnej powyżej $100 \text{ g CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$ [2]. Odkwaszanie wód miękkich sposobami mechanicznymi nie daje dobrych wyników, natomiast w wodach twardych usuwanie CO_2 powoduje wytrącanie się CaCO_3 i dlatego należy je dodatkowo klarować [1]. W przypadku małej zawartości dwutlenku węgla w wodzie lub gdy sposoby mechanicznego usuwania CO_2 nie zapewniają dostatecznego odkwaszania wody należy usuwać dwutlenek węgla z wody przez wiązanie go metodami chemicznymi. Odkwaszanie chemiczne polega na dawkowaniu do wody wapna (w postaci suchej, mleka wapiennego, wody wapiennej) lub rzadziej (ze względu na koszty) sody i ługu sodowego, bądź na przepuszczeniu wody przez filtry wypełnione marmurem, magnezytem, masą dofiltr. lub innym złożem zasadowym. W wyniku chemicznego wiązania wolnego (agresywnego) dwutlenku węgla tworzy się wodorowęglan, który w wodzie powoduje wzrost zasadowości ogólnej:



Z równania (1) i (2) wynika, że odkwaszanie chemiczne wody przez jej wapnowanie lub przepuszczanie przez złożo zawierające CaCO_3 (np. marmur) powoduje podwyższenie twardości węglanowej w pierwszym przypadku o $1,14 \text{ g CaCO}_3$, w drugim o $2,27 \text{ g CaCO}_3$ na 1 gram usuniętego dwutlenku węgla w 1 m^3 . Ilość

dwutlenku węgla w wodzie chemicznie odkwaszonej ma wpływ nie tylko na wzrost zasadowości ogólnej (twardości węglanowej), ale również decyduje o prędkości filtracji, a więc i o czasie kontaktu wody ze złożem odkwaszającym. W miarę wzrostu stężenia dwutlenku węgla w wodzie maleje prędkość filtracji i wydłuża się czas kontaktu wody ze złożem. Również z tego względu należy przed filtracją przez złożo zasadowe wstępnie odkwaszać wodę przez napowietrzanie [2].

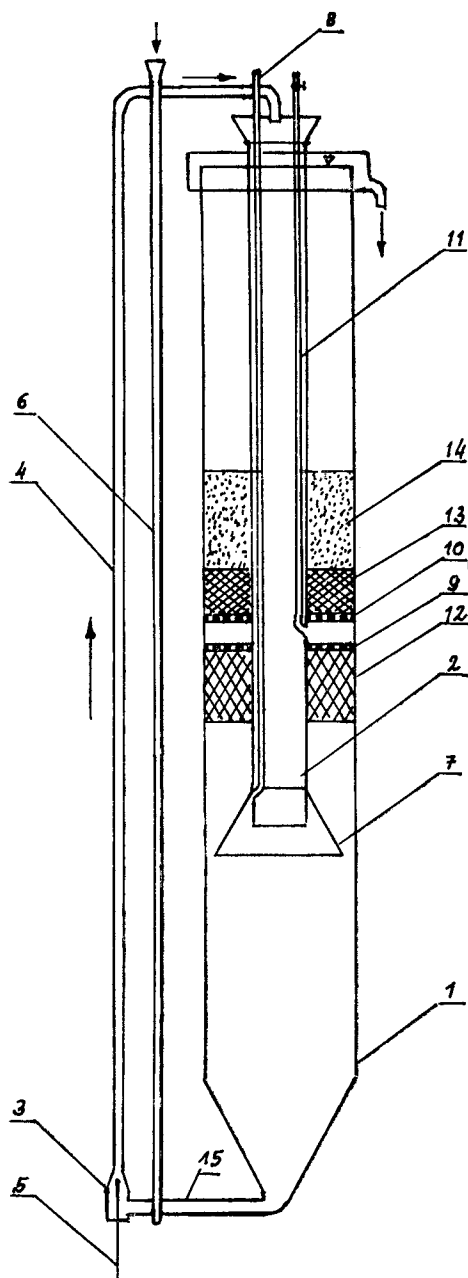
Na wybór metody odkwaszania wody ma wpływ jej zasadowość ogólna. W urządzeniach ciśnieniowych przeprowadza się np. napowietrzanie wód o zasadowości ogólnej powyżej $250 \text{ g CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$, natomiast w urządzeniach otwartych zazwyczaj są odkwaszane wody o zasadowości mniejszej (od 100 do $250 \text{ g CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$) przy zastosowaniu do tego celu różnych sposobów napowietrzania m. in. wytryski zwykłe, dysze zderzeniowe, złoża ociekowe i inne urządzenia [1, 2, 3, 4].

Celem niniejszej pracy było doświadczalne sprawdzenie przydatności urządzenia wielofunkcyjnego (rys. 1) do mechanicznego i chemicznego odkwaszania wody.

W urządzeniu tym odkwaszanie mechaniczne polega na wypłukaniu (odgazowaniu) dwutlenku węgla z wody za pomocą strumienia powietrza dopływającego do strumienicy i rury tłocznej, natomiast odkwaszanie chemiczne polega na kontakcie wody z suspensją zasadową, przepływającą w obiegu kołowym wewnątrz urządzenia.

Sposób działania urządzenia wielofunkcyjnego w procesie mechanicznego odkwaszania wody

Wodę zawierającą wolny (agresywny) dwutlenek węgla doprowadza się rurą **6** i **15** (rys. 1) do powietrzno-wodnej strumienicy **3**, gdzie następuje intensywne wymieszanie wody z powietrzem wypływającym stale z dyszy zasilającej. Mieszanina powietrzno-wodna przepływa przez rurę tłoczną **4** do rury środkowej **2** i dolnej



Rys. 1 Schemat urządzenia wielofunkcyjnego: 1 — zbiornik cylindryczny, 2 — rura środkowa, 3 — strumienica, 4 — rura tłoczna, 5 — sprężone powietrze, 6 — rura doprowadzająca wodę, 7 — kolektor stożkowy, 8 — rura odpowietrzająca, 9, 10 — przegrody perforowane, 11 — rura do płukania złoża, 12, 13 — elastyczna pianka poliuretanowa, 14 — złożo piaskowe, 15 — rura łącząca strumienicę ze zbiornikiem 1

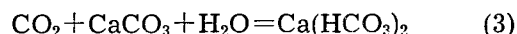
części zbiornika cylindrycznego, skąd wraca do strumienicy rurą łączącą 15, w której miesza się z dopływającą stale wodą surową. W czasie krążenia wody w obiegu kołowym zachodzi jej natlenianie i jednocześnie odgazowanie dwutlenku węgla. Procesy te przebiegają głównie w strumienicy i rurze tłocznej, tj. w strefie burzliwego przepływu mieszaniny (emulsji) powietrzno-wodnej, gdzie odbywa się intensywne wyrównywanie ciśnienia cząstkowego gazów w wodzie i w powietrzu. Wydzielony CO_2 z wody z łatwością przenika do powietrza, w którym ciśnienie cząstkowe dwutlenku węgla

jest znikome*). Emulsja powietrzno-wodna po przepłynięciu przez rurę tłoczną 4 ulega destabilizacji w rurze środkowej 2 i wydzielające się powietrze jest usuwane do atmosfery, natomiast woda pozostaje nadal w obiegu, w którym przez określony czas przepływa wielokrotnie przez strumienicę i rurę tłoczną, kontaktując się wciąż ze świeżym powietrzem dopływającym stale do strumienicy.

Ten wielokrotny kontakt wody ze świeżym powietrzem zwiększa stopień usuwania dwutlenku węgla z wody. Ponieważ proces usuwania dwutlenku węgla z wody i jej natlenienie może pociągać za sobą (zwłaszcza w wodach twardej i zawierających związki żelaza) wytrącanie się trudno rozpuszczalnych osadów CaCO_3 i $\text{Fe}(\text{OH})_3$, zatem woda po odkwaszeniu przepływa w obiegu przez wkładkę filtracyjną, która składa się z dwóch warstw elastycznej pianki poliuretanowej 12 i 13 oraz warstwy piasku 14. Woda odkwaszona i sklarowana odpływa w sposób ciągły z górnej części urządzenia.

Sposób działania urządzenia wielofunkcyjnego w procesie chemicznego odkwaszania wody

W urządzeniu wielofunkcyjnym (rys. 1) można również przeprowadzać chemiczne odkwaszanie wody. Proces ten polega na intensywnym wymieszaniu wody z suspensją zasadową (np. CaCO_3) i następnie na oddzieleniu wody od pozostałej, a więc nieprzereagowanej zawiesiny, która w sposób ciągły krąży w obiegu kołowym. W związku z tym woda zawierająca agresywny dwutlenek węgla za pomocą pompy perystaltycznej dopływa do rury 6 (rys. 1) skąd grawitacyjnie spływa do rury łączącej 15, w której miesza się z suspensją dopływającą do strumienicy 3, pod wpływem sprężonego powietrza wypływającego z dyszy zasilającej 5 zachodzi wymieszanie dopływającej wody z suspensją krążącą w obiegu kołowym. Mieszanina ta przepływa kolejno przez strumienicę 3, rurę tłoczną 4 i rurę środkową 2 oraz dolną część zbiornika 1. W czasie kontaktu wody z suspensją CaCO_3 , tj. w czasie ich wspólnego krążenia dwutlenek węgla wolny częściowo jest usuwany z wody mechanicznie, a pozostała jego ilość jest wiązana chemicznie w reakcji z węglanem wapniowym według ogólnego równania:



Reakcja ta zachodzi na granicy faz, tj. na powierzchni cząstek CaCO_3 , które stopniowo rozpuszczają się i zmniejszają swoją objętość. Krążąca w obiegu kołowym suspensja gromadzi się również w dolnej części urządzenia wielofunkcyjnego tworząc warstwę zawieszono osadu, która spełnia jednocześnie funkcję fil-

*) zawartość CO_2 w powietrzu atmosferycznym wynosi około 0,03% mas.

tra dla przepływającej wody. Większe cząstki osadu w warstwie zawieszonego osadu opadają i w ten sposób trafiają do obiegu cyrkulującej mieszaniny, natomiast bardzo drobne cząstki są unoszone, wypływają z warstwy zawieszonego osadu i zatrzymują się na powierzchni pianki poliuretanowej lub migrują do jej wnętrza. Dzięki temu woda przepływając przez warstwę zawieszonego osadu i piankę poliuretanową pozbywa się zawieszin, a zatrzymane w porach i mikrokanalikach pianki bardzo drobne cząstki CaCO_3 w dalszym ciągu mogą reagować z dwutlenkiem węgla agresywnym zwiększając stopień odkwaszenia wody odpływającej z urządzenia.

W omawianym urządzeniu wielofunkcyjnym (rys. 1) może też być realizowany dwustopniowy, tj. mechaniczno-chemiczny proces odkwaszania wody, z tym, że wkładka filtracyjna oprócz pianki poliuretanowej i złoża piaskowego powinna zawierać również w górnej części złożo zasadowe, np. rozdrobniony marmur. W takim układzie woda przepływająca przez urządzenie najpierw jest mechanicznie odkwaszana w obiegu, następnie filtrowana przez piankę poliuretanową i złożo piaskowe, po czym odkwaszana chemicznie na złożu zasadowym. Taki proces technologiczny stosuje się dla wód miękkich zawierających dwutlenek węgla agresywny i związki żelaza [2]. Wówczas intensywne napowietrzanie wody w obiegu powoduje usuwanie CO_2 i strącanie się trudno rozpuszczalnego wodorotlenku żelazowego. Osad ten zatrzymuje się, zaś niedostatecznie sklarowana i odkwaszona woda przepływa następnie przez złożo piankowo-piaskowe, następnie przez złożo z węglanu wapniowego, który wiąże pozostały dwutlenek węgla na wodorowęglan wapniowy.

Skala badań

Badania nad odkwaszaniem wody przeprowadzono w skali laboratoryjnej w urządzeniu (rys. 1), którego szczegółowy opis podano w publikacjach [5, 6]. Pojemność urządzenia, tj. zbiornika cylindrycznego o średnicy 55 mm wynosiła 1980 cm^3 , z tego na obieg przypada 410 cm^3 , na warstwę zawieszonego osadu i strefę nadosadową — 820 cm^3 , a pozostałą objętość (czyli 750 cm^3) zajmuje wkładka filtracyjna i woda zgromadzona nad złożem filtracyjnym.

Wkładka filtracyjna składa się z dwóch warstw elastycznej pianki poliuretanowej: dolnej o grubości 45 mm i górnej — 20 mm oraz warstwy piaskowej o grubości 60 mm i uziarnieniu $d_m = 0,35$ mm oraz współczynnika stopnia nierównomierności 1,75.

Urządzenie do rozpuszczania dwutlenku węgla w wodzie

Przydatność urządzenia wielofunkcyjnego (rys. 1) do mechanicznego i chemicznego odkwaszania wody sprawdzono na wodzie o różnej za-

wartości dwutlenku węgla. Wodę taką otrzymano w laboratorium z wody wodociągowej, którą za pomocą pompki perystaltycznej 2 podawano ze zbiornika 1 do rury 3 urządzenia strumienicowego (rys. 2), skąd grawitacyjnie spływała do strumienicy 4, do której wtłaczano sprężarką 5 powietrze o różnej zawartości dwutlenku węgla. W strumienicy i rurze tłocznej zachodzi intensywne przemieszanie fazy gazowej i ciekłej oraz rozpuszczenie dwutlenku węgla w wodzie. Woda krążąca w obiegu po nasyceniu dwutlenkiem węgla przepływa do pozostałej części urządzenia strumienicowego, natomiast powietrze po oddzieleniu się od wody, co ma miejsce w rurze środkowej 6 wraca do zbiornika gazowego 7, z którego za pomocą sprężarki 5 jest ponownie wprowadzane do strumienicy. Stały przepływ wody przez urządzenie strumienicowe i rozpuszczanie się w niej dwutlenku węgla powoduje ciągły ubytek tego gazu w powietrzu znajdującym się w obiegu i zbiorniku gazowym oraz zmniejszenie się zawartości dwutlenku węgla w wodzie odpływającej z urządzenia. Aby przeciwdziałać temu zjawisku należy w sposób ciągły lub okresowy uzupełniać zawartość CO_2 w powietrzu krążącym w obiegu zamkniętym. Zastosowanie obiegu zamkniętego dla gazu, przy ciągłym przepływie wody przez urządzenie nagazowujące, znajduje swe uzasadnienie w technice laboratoryjnej, gdyż zmniejsza straty CO_2 , jakie powstają np. podczas długotrwałego, otwartego nagazowywania wody.

Próby mechanicznego odkwaszania wody w urządzeniu wielofunkcyjnym

Woda użyta do mechanicznego odkwaszania zawierała od 13,2 do 167,2 g $\text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 1). Wodę o tej zawartości wolnego CO_2 otrzymano z wody wodociągowej (tab. 2) w urządzeniu strumienicowym (rys. 2), stosując stałe natężenie dopływu wody ($0,270 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) i powietrza ($46,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) oraz stały czas przetrzymania wody w obiegu (5,6 h) i w całym urządzeniu (7,3 h), natomiast różne zawartości dwutlenku węgla w powietrzu od 1,1 do 10,3% objętościowych.

Objętość powietrza w obiegu zamkniętym wynosiła około 25 dm^3 . Zawartość dwutlenku węgla w powietrzu oznaczano aparatem Orsata [7]. Woda nagazowywana dwutlenkiem węgla spływała grawitacyjnie z urządzenia strumienicowego do rury 8 urządzenia wielofunkcyjnego (rys. 2). Natężenie dopływu wody wynosiło $0,270 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, powietrza 46,5 $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a zatem i natężenie przepływu wody w obiegu było stałe i wynosiło $113 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Konsekwencją tych niezmiennych natężeń dopływu wody i powietrza był stały stosunek zmieszania wody dopływającej do urządzenia z wodą krążącą w obiegu (1:418) i czas przetrzymania wody w obiegu (1,52 h). Doświadczenia nad mechanicznym odkwaszaniem wody prowadzono w sposób ciągły przez pięć dni. W każdej kolejnej dobie za-

SKŁAD WODY WODOCIĄGOWEJ PO JEJ NAGAZOWANIU W URZĄDZENIU STRUMIENICOWYM
W ZALEŻNOŚCI OD ZAWARTOŚCI CO₂ W POWIETRZU

Tabela 1

Oznaczenie	Jednostki	Przed na- gazowaniem	Woda wodociągowa po nagananiu powietrzem o początkowej zawartości CO ₂ w ‰				
			1,1	1,9	2,8	5,7	10,3
Odczyn	pH	7,4	7,2—7,3	6,9—7,0	6,8—6,9	6,5—6,6	6,2—6,3
Wolny dwutlenek węgla*)	gCO ₂ ·m ⁻³	11,0	17,6—13,2	30,8—26,4	44,0—35,2	92,4—70,4	167,2—132,0
Zasadowość ogólna	gCaCO ₃ ·m ⁻³	130			bez zmian		
Twardość ogólna	o _{tw}	13,3			bez zmian		

*) wartości większe uzyskano po 8 h trwania doświadczenia, a mniejsze po 24 h

SKŁAD WODY WODOCIĄGOWEJ

Tabela 2

Oznaczenie	Jednostki	Woda wodociągowa do odkwaszenia	
		mechanicz- nego	chemicznego
Mętność	g·m ⁻³	5	poniżej 5
Barwa	gPt·m ⁻³	10	15
Zapach	—	Z2S (chlorowy)	Z2S (chlorowy)
Odczyn	pH	7,31	7,41
Zasadowość ogólna	gCaCO ₃ ·m ⁻³	130	140
Twardość ogólna	o _{tw}	13,3	14,1
Twardość węglanowa	o _{tw}	7,3	7,8
Żelazo ogólne	gFe·m ⁻³	0,74	0,60
Mangan	gMn·m ⁻³	0,18	0,14
Chlorki	gCl·m ⁻³	50	62
Amoniak	gN·m ⁻³	0,1	0,14
Azotyny	gN·m ⁻³	ślady	0,06
Azotany	gN·m ⁻³	0,5	0,35
Siarczany	gSO ₄ ·m ⁻³	96,0	87,0
Utlenialność	gO ₂ ·m ⁻³	2,9	3,0
Wapń	gCa·m ⁻³	74,0	80,0
Magnez	gMg·m ⁻³	12,4	12,5
Sód	gNa·m ⁻³	28	32
Potas	gK·m ⁻³	10	6
Ciała rozpuszczone ogólne	g·m ⁻³	405	420
Ciała rozpuszczone mineralne	g·m ⁻³	288	315
Ciała rozpuszczone łotne	g·m ⁻³	117	105

wartość dwutlenku węgla w wodzie dopływającej do urządzenia wielofunkcyjnego była większa (tab. 3).

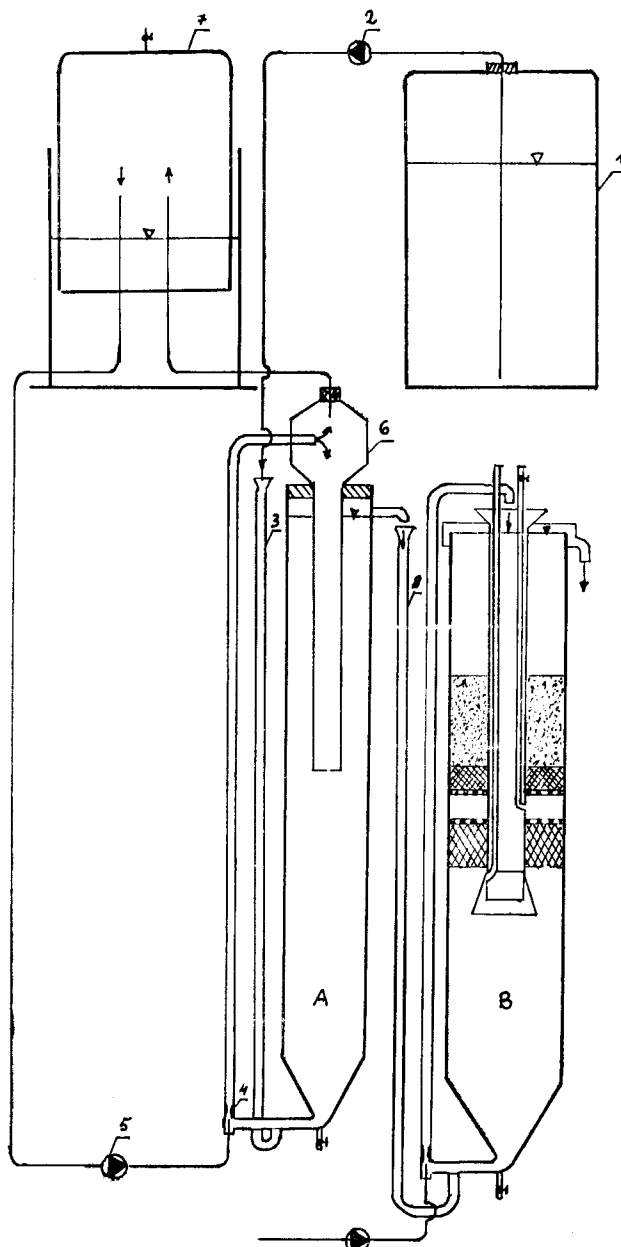
ZAWARTOŚĆ CO₂ W WODZIE
PRZED I PO JEJ MECHANICZNYM ODKWASZENIU
W URZĄDZENIU WIELOFUNKCYJNYM

Tabela 3

Kolejny dzień doświad- czenia	Zawartość CO ₂ w wodzie (gCO ₂ ·m ⁻³) na:	
	dopływie	odpływie
1	13,2—17,6	8,8—11,0
2	26,4—30,8	8,8—13,2
3	35,2—44,0	8,8—11,0
4	70,4—92,4	8,8—11,0
5	132—167,2	8,8—11,0

Wzrost zawartości dwutlenku węgla w wodzie z 13,2 do 167,2 g CO₂·m⁻³ nie miał istotnego wpływu na skład wody mechanicznie odkwaszonej wypływającej z urządzenia wielofunkcyjnego. W wodzie tej zawartość dwutlenku węgla (niezależnie od jego początkowego stęże-

nia) wynosiła od 8,1 do 13,2 g CO₂·m⁻³ (tab. 3), co w przypadku wód miękkich i bardzo miękkich (o małej zasadowości ogólnej) nie daje zadowalających wyników odkwaszania.



Rys. 2 Schemat urządzenia strumieniowego (A) i wielofunkcyjnego (B) do badań nad odkwaszaniem wody

Próby chemicznego odkwaszania wody za pomocą suspensji CaCO_3

Doświadczenia przeprowadzono zarówno na wodzie mechanicznie odkwaszonej (tab. 4) w urządzeniu wielofunkcyjnym B (rys. 2), jak i na wodzie wodociągowej, którą najpierw poddano szczepieniu kwasem HCl w zbiorniku 1, a następnie nagazowywano dwutlenkiem węgla w urządzeniu strumienicowym A (rys. 2). Szczepienie kwasem miało na celu obniżenie zasadowości ogólnej wody, natomiast jej nagazowywanie — zwiększenie zawartości dwutlenku węgla.

Tabela 4
SKŁAD WÓD UŻYTYCH DO CHEMICZNEGO ODKWASZANIA

Oznaczenie	Jednostki	W o d a p o:	
		mechanicznym odkwaszeniu (X)	szczepieniu i nagazowaniu CO_2 (Y)
Odczyn	pH	7,3—7,5	6,4—6,5
Zasadowość	$\text{gCaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$	130	80
Kwasowość ogólna	$\text{gCaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$	10—15	110—90
Wolny dwutlenek węgla	$\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$	8,8—13,2	96,8—79,2
Twardość ogólna	o^{tw}	13,3	14,1
Żelazo	$\text{gFe} \cdot \text{m}^{-3}$	0,15	0,6

Wody o tym składzie bezpośrednio z urządzenia strumienicowego A (woda X) lub z urządzenia wielofunkcyjnego B (woda Y) spływały grawitacyjnie do analogicznego urządzenia wielofunkcyjnego (rys. 1), gdzie kontaktowały się z suspensją CaCO_3 krążącą w obiegu i jednocześnie tworzącą warstwę zawieszonego osadu w strefie sedimentacji. Czas przetrzymania wody w obiegu wynosił 1,52 h, a w całym urządzeniu 7,31 h. Również natężenie dopływu wody i powietrza do strumienicy były takie same jak przy mechanicznym odkwaszaniu. Zawartość suspensji w urządzeniu wynosiła 50 g i otrzymano ją z rozdrobnionego marmuru o wielkości cząstek poniżej 0,06 mm.

Wyniki odkwaszania tych wód podano w tabeli 5, z której wynika, że pomimo iż woda Y przed chemicznym odkwaszeniem zawierała dużo więcej wolnego dwutlenku węgla i wykazywała nieco mniejszą zasadowość ogólną niż woda X (tab. 4), to po chemicznym odkwaszeniu ich skład jest do siebie zbliżony (tab. 5). Oznacza to, że w urządzeniu wielofunkcyjnym, w którym woda kontaktuje się z suspensją CaCO_3 szybciej przebiega proces mechanicznego odkwaszania niż chemicznego. Wskazuje na to również niewielki wzrost zasadowości ogólnej i twardości ogólnej wody chemicznie odkwaszonej (tab. 4 i 5). A zatem w urządzeniu

Tabela 5
SKŁAD WODY CHEMICZNIE ODKWASZONEJ

Oznaczenie	Jednostki	W o d a p o:	
		mechanicznym i chemicznym odkwaszeniu (X)	wodociągowej po szczepie- niu, nagazo- wywaniu i che- micznym odkwaszeniu (Y)
Mętność	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	poniżej 3	poniżej 3
Odczyn	pH	7,7—7,6	7,8—7,9
Zasadowość	$\text{gCaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$	150—160	125—130
Kwasowość ogólna	$\text{gCaCO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$	7,5	2,5—5
Dwutlenek węgla	$\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$	6,6	2,2—4,4
Twardość ogólna	o^{tw}	14,6—15,2	16,6—16,9
Żelazo	$\text{gFe} \cdot \text{m}^{-3}$	0	0

wielofunkcyjnym zawierającym suspensję CaCO_3 odbywa się jednocześnie mechaniczne i chemiczne odkwaszanie wody, z tym, że dla wód miękkich o dużej zawartości dwutlenku węgla wolnego znacznie więcej CO_2 jest usuwane na drodze fizycznej niż chemicznej.

Wnioski

1. Wyniki prób technologicznych w skali laboratoryjnej wykazały, że w urządzeniu wielofunkcyjnym może być realizowane mechaniczne, chemiczne i mechaniczno-chemiczne odkwaszanie wody.
2. W urządzeniu wielofunkcyjnym zawierającym suspensję CaCO_3 zachodzi jednocześnie mechaniczne i chemiczne odkwaszanie wody, przy czym o szybkości tych procesów decyduje zawartość wolnego i związanego CO_2 w wodzie.
3. Urządzenie wielofunkcyjne może być też wykorzystane w laboratoriach technologicznych do wytwarzania wód o dowolnej zawartości dwutlenku węgla (wolnego, agresywnego) i różnej zasadowości, tj. twardości węglanowej.

LITERATURA

1. **Praca zbiorowa:** Woda w przemyśle (Poradnik). PWN, Warszawa 1961.
2. A. L. KOWAL: Technologia wody. Arkady Warszawa 1977.
3. **Praca zbiorowa:** Urządzenia do uzdatniania wody. Zasady projektowania i przykłady obliczeń. Arkady Warszawa 1980.
4. J. SUSCHKA, J. ZIELIŃSKI, E. GLAJCAR: Urządzenia do natleniania ścieków. Podstawy teoretyczne i projektowe. Arkady Warszawa 1979.
5. **Opis urządzenia do fizykochemicznego oczyszczania wody i ścieków** (polski patent Nr 119207).
6. E. GOMÓŁKA, B. GOMÓŁKA: Modyfikacja urządzenia strumienicowego do oczyszczania ścieków. Gaz, Woda i Technika Sanitarna Nr 11—12 (1982 s. 227).
7. **Polska Norma PN-54/C-94759.** Analiza chemiczna aparatem typu Orsata.