

6. H. MAŃCZAK, S. KOZIARSKI: Możliwość adaptacji zbiorników do gromadzenia gnojowicy świńskiej na komory fermentacyjne i komory osadu czynnego. Sympozjum: Hochkonzentrierte Abwasser aus Industrie und Landwirtschaft — Behandlung und Verwertung, 9—10 marzec 1981. Aachen RFN.
7. H. Mańczak: Odzysk białka paszowego z niektórych ścieków z przemysłu spożywczego. Komunikat Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej nr 101/80.
8. H. MAŃCZAK: Eutrofizacja i zanieczyszczenie wód powierzchniowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 217. 1979.
9. J. CEBULA: Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych. Rękopis w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział we Wrocławiu. 1977.
10. H. MAŃCZAK: Program wyżywienia narodu a ochrona środowiska. Materiały konferencji naukowo-technicznej nt.: Postęp naukowo-techniczny a intensyfikacja produkcji białka, tom I. Katowice, marzec 1978.

mgr inż. Andrzej Nałberczyński
mgr inż. Witold Zalewski

Zakład Badania Jakości Zasobów Wodnych
IMGW Oddział Wrocław

ODZYSK WODY ZE ŚCIEKÓW MIEJSKICH MIASTA WAŁBRZYCHA

Przykładem okręgu przemysłowego, w którym występuje ostry deficyt wody, jest aglomeracja wałbrzyska z silnie rozwiniętym przemysłem wydobywania i przeróbki węgla wysokokoksującego. W rejonie tym brak jest źródeł wody, a istniejące ujęcia wód powierzchniowych, zlokalizowane są w znacznej odległości od odbiorców, co przy dużych różnicach w ukształtowaniu terenu stwarza poważną barierę energetyczną przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych.

Możliwości szybszego zmniejszenia niedoboru wody w rejonie m. Wałbrzycha stwarza koncepcja wykorzystania do celów przemysłowych wody pochodzącej z odnowy wód zużytych. Koncepcja ta została wysunięta przez Wałbrzyskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w 1975 r. i uzyskała aprobatę instancji wojewódzkich.

Z rozpoznania gospodarki wodno-ściekowej rejonu m. Wałbrzycha wynikało, że wodę na potrzeby przemysłu można uzyskać poprzez odnowę biologicznie oczyszczonych ścieków miejskich. Ze względu na przestrzenne rozmieszczenie planowanych odbiorców wody przemysłowej, lokalizację Zakładu Odnowy Wody można było rozpatrywać jedynie na terenie istniejącej oczyszczalni mechaniczno-biologicznej ze złożami spłukiwanymi.

Zakres i sposób realizacji badań

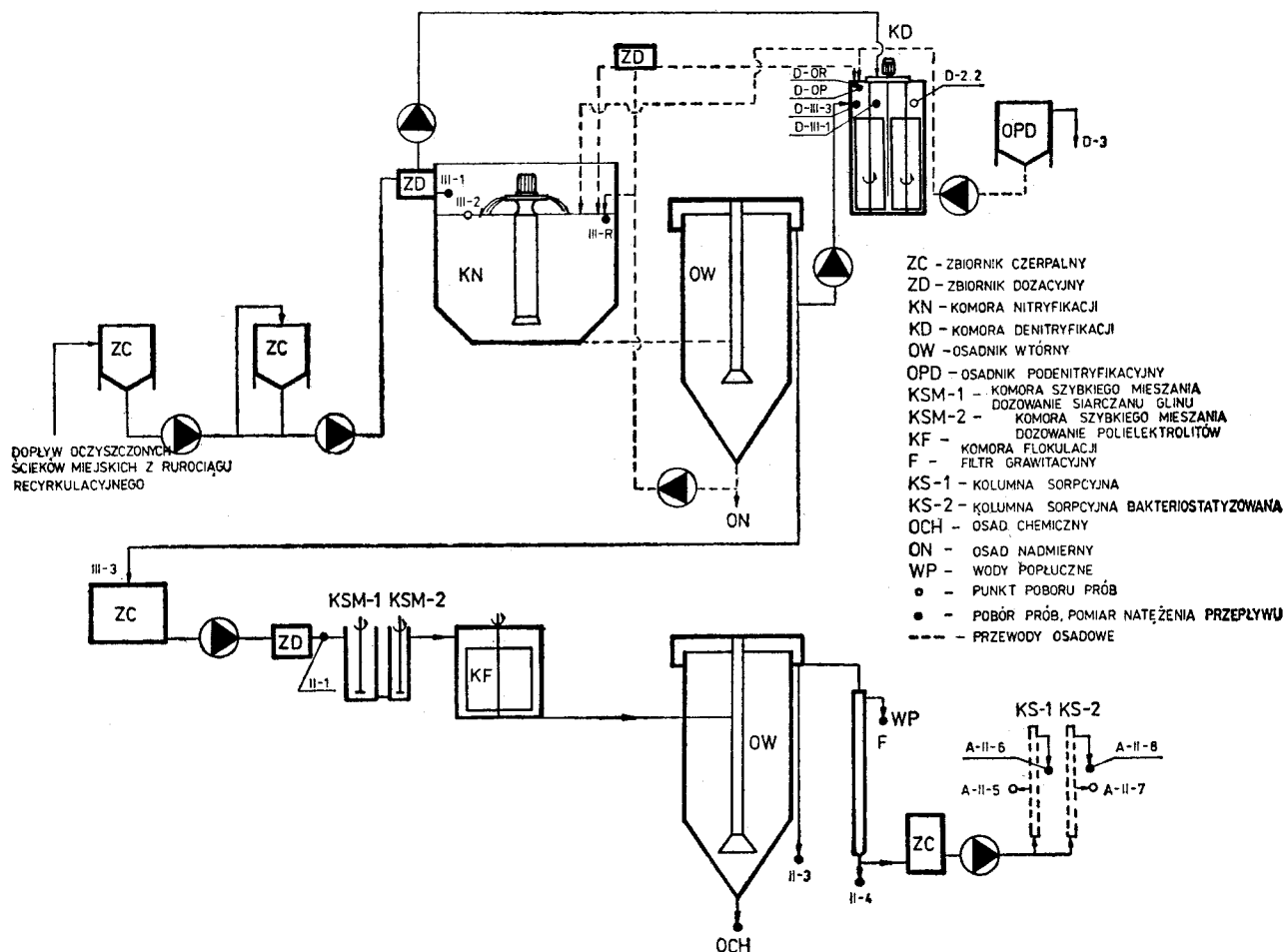
Badania technologiczne nad odzyskiem wody prowadzone na stacji modelowej obejmowały procesy nitryfikacji i denitryfikacji z osadem czynnym, koagulację i filtrację, badania nad

dezynfekcją wody przemysłowej wykonywano w warunkach laboratoryjnych [3].

Schemat technologiczny ZOW „Poniatów” ustalono na podstawie badań wstępnych z zastosowaniem m.in. procesu nitryfikacji na złożu spłukiwanym, denitryfikacji wspomaganą metanolem, adsorpcji i wymiany jonowej [6].

Układ urządzeń doświadczalnych, zainstalowanych na stacji modelowej „Pełcznica” — rys. 1 zasilano oczyszczonymi ściekami miejskimi, które przetłaczano do komory nitryfikacji o pojemności czynnej 9,1 m³ napowierzanej pływającym aeratorem powierzchniowym typu „M-Politechnika Wrocławska”. Z komorą nitryfikacji współpracował osadnik wtórny o Φ 1,5 m i pojemności $V=4,1$ m³ z przepływem ścieków w kierunku pionowym. Odpływ po nitryfikacji kierowano na koagulację; część ścieków doprowadzano do komory denitryfikacji o $V=0,75$ m³, wyposażonej w dwa mieszałki wolnoobrotowe o prędkości 10 obr/min. W skład urządzeń do denitryfikacji wchodził również osadnik o Φ 0,75 m i $V=0,34$ m³.

Zestaw urządzeń do koagulacji stanowiły dwie komory szybkiego mieszania, komora flokulacji i osadnik wtórny. Zblokowane komory szybkiego mieszania umożliwiały równoległe dawkowanie koagulantów klasycznych i polielektrolitów. Do pierwszej z komór o $V=0,11$ m³ dawkowano w okresie badań siarczan glinu, a do komory o pojemności 20 dm³ rokrysol WF-2. W komorze flokulacji o $V=1,3$ m³ zainstalowano mieszałkę napędzaną poprzez trójstopniową przekładnię, umożliwiającą uzyskiwanie prędkości 7,10 i 20 obr/min.



Rys. 1 Schemat urządzeń technologicznych i lokalizacja punktów pomiarowo-kontrolnych na stacji modelowej „Petelnica” w Wałbrzychu

Z komory flokulacji woda dopływała do osadnika wtórnego o wymiarach jakie podano dla osadnika współpracującego z komorą nitryfikacji. Sklarowaną wodę doprowadzano grawitacyjnie na filtr dwuwarstwowy — rys. 4. wyposażony w instalację do płukania wodno-powietrznego.

Utrzymanie ciągłości procesów technologicznych wymagało realizacji następującego zakresu prac kontrolnych i pomocniczych:

- pomiary i regulację ilości ścieków i dawek chemikaliów
- pobór próbek ścieków z równoczesnym pomiarem temperatury
- pomiary ilości osadów wraz z poborem próbek.

Ilość ścieków, osadów i dozowanych chemikaliów określono poprzez bezpośredni chwilowy pomiar objętości cieczy dokonywany z częstotnością od 2 do 4 h przez całą dobę. Podstawę oceny efektywności badanych procesów stanowiły analizy fizyko-chemiczne wykonywane z dobowych próbek zlewanych oraz z próbek wyrzutowych pobieranych zgodnie z czasem przepływu.

Charakterystyka wód zużytych zasilających stację modelową

W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne wartości badanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych mechanicznie (S-1) i w odpływie z oczyszczalni miejskiej (S-3) z podziałem uwzględniającym zmiany w efektywności oczyszczania powodowane wpływem temperatury. Tabela ta zawiera również skład dopływu do komory nitryfikacji (III-1) będącej pierwszym obiektem w schemacie technologicznym planowanego Zakładu Odnowy Wody. Występujące różnice w składzie tego samego rodzaju ścieków (S-3 i III-1) wynikały z faktu, że na stację modelową nie doprowadzano bezpośrednio odpływu S-3 lecz recyrkulat ujmowany spod zwierciadła ścieków, który dodatkowo (podczas postoju pomp) mógł zawierać częściowy udział ścieków S-1.

Możliwość utrzymywania stałego obciążenia hydraulicznego złóż splukiwanych na poziomie ok. $17 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ pozwalała na uzyskiwanie stosunkowo wysokiego stopnia oczyszczania w odniesieniu do większości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. W pierwszym przedziale obejmującym wyniki uzyskane do 31 maja

CHARAKTERYSTYCZNE WYNIKI SKŁADU WÓD ZUŻYTYCH ZASILAJĄCYCH URZĄDZENIA TECHNOLOGICZNE STACJI MODELOWEJ „PEŁCZYNICA” W WAŁBRZYCHU

L.p.	Wskazniki zanieczyszczenia	Oczyszczalnia miejska						Stacja modelowa					
		S — 1			S — 3			III — 1					
		10 ⁰ /o	50 ⁰ /o	90 ⁰ /o	10 ⁰ /o	50 ⁰ /o	90 ⁰ /o	10 ⁰ /o	50 ⁰ /o	90 ⁰ /o	10 ⁰ /o	50 ⁰ /o	90 ⁰ /o
1.	Odczyn	7,2	7,4	7,6	7,4	7,5	7,7	7,3	7,5	7,7	7,2	7,4	7,6
2.	Bardzo	30	80	100	30	45	80	30	40,	60	30	50	60
3.	Miećność	65	120	320	25	50	80	20	45,	70	30	60	70
4.	Przepuszczalność	0	4	15	9	30	70	47	69	77	5	44	66
5.	Absorpcja	22	35	56	51	64	73	61	67	74	31	65	72
6.	Zasadowość ogólna	4,8	5,7	7,1	2,8	4,2	5,6	3,3	4,6	6,0	3,1	4,5	5,8
7.	BZT	90	150	250	22	38	95	12	25	36	40	40	108
8.	CZT	170	275	467	58	90	190	26	60	83	24	96	200
9.	Węgiel organiczny	27	64	114	14	23	38	12	18	30	15	25	41
10.	Azot amonowy	21,0	30,0	39,0	12,0	21,0	35,0	6,0	13,0	20,0	9,0	17,0	28,0
11.	Azot azotanowy	0	0,05	0,20	0,1	0,4	2,5	0,3	0,9	1,7	0,1	0,5	1,4
12.	Azot azotanowy	0,3	0,4	0,6	1,0	9,5	14,2	5,9	12,5	16,4	1,5	9,2	13,5
13.	Azot organiczny	5,1	9,4	15,2	3,4	5,8	7,1	2,0	4,4	7,0	2,4	4,8	9,0
14.	Fosfor ogólny	5,4	5,7	6,1	—	—	—	3,6	4,3	5,4	4,1	5,6	7,1
15.	Fosfor ogólny	2,5	4,3	5,3	—	—	—	2,8	4,3	5,3	3,5	4,8	6,0
16.	Fenole	0,044	0,185	0,440	—	0,053	—	—	0,041	0,100	0,030	0,100	0,228
17.	Cyjanki	0,001	0,044	0,090	—	0,067	—	—	0,024	0,067	0,007	0,023	0,090
18.	Chlorki	80	98	116	60	79	96	67	92	107	78	93	112
19.	Sierczany	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20.	Żelazo	0,59	0,75	1,64	—	0,43	—	—	0,30	—	—	235	337
21.	Mangan	0,15	0,23	1,50	0,15	0,19	0,20	0,07	0,14	0,20	0,27	0,54	1,10
22.	Miedź	0,010	0,015	0,007	0,007	0,013	0,039	0,004	0,008	0,012	0,070	0,010	0,018
23.	Cynk	0,190	0,230	0,295	0,070	0,120	0,250	0,060	0,140	0,280	0,004	0,170	0,230
24.	Ołów	0,020	0,035	0,110	0,009	0,024	0,068	0,010	0,030	0,045	0,020	0,034	0,090
25.	Zawiesiny ogólne	72	122	193	21	38	70	24	54	109	40	74	160
26.	Twardość ogólna	13,4	15,9	21,6	13,0	15,5	19,0	12,8	14,7	17,6	13,0	15,1	17,9

S-1 — Odpływ z osadników wstępnych S-3 — Odpływ z osadników wtórnych III-1 — Dopływ do komory nityfikacji 2°.

Taboela 1

przeciętne obniżenie BZT₅ wynosiło 75%, CZT — 67% i węgla organicznego 64%. W drugim okresie notowano wzrost efektywności oczyszczania ścieków wyrażający się 83% zmniejszeniem BZT₅, 78% CZT i 72% Corg. W okresie tym zaznaczył się również wzrost prędkości nitryfikacji, przeciętne stężenie azotu amonowego spadło do 13 mg N_{NH4}/dm³ podczas gdy w przedziale pierwszym było równe 21 mg N_{NH4}/dm³. Zgodnie z wynikami badań z lat ubiegłych, jakie prowadzono na stacji modelowej, notowano znaczną redukcję fenoli ok. 75% i niewielki stopień usunięcia cyjanów. Kontrola analityczna stężeń wybranej grupy metali, w odniesieniu do całego okresu badań wskazuje, że na złożu sphiwianym uzyskiwano przeciętne obniżenie zawartości żelaza ogólnego i cynku o ok. 50% oraz miedzi, ołowiu i manganu ok. 30%.

W porównaniu do odpływu z osadników wtórnych skład ścieków doprowadzanych do komory nitryfikacji okazał się zbliżony do wartości określonych dla przedziału pierwszego, charakteryzującego mniejszą sprawność oczyszczania w warunkach występowania obniżonej temperatury ścieków.

Nitrifikacja

Założeniem programu badań było określenie parametrów technologicznych, pozwalających na uzyskanie pełnej nitryfikacji ścieków z uwzględnieniem okresu występowania niskich temperatur i jakości odpływu zapewniającej efektywny przebieg procesu koagulacji.

W prowadzonych badaniach wydzielono 3 serie doświadczalne. Każdą serię badań rozpoczynano od ok. 2 tygodniowego okresu wpracowania i adaptacji osadu, pobieranego z osadników wtórnych po złożach biologicznych. W serii 3 zmieniono sposób napowietrzania doprowadzając do komory nitryfikacji sprężone powietrze. Pierwsze dwie serie badań wykonywane w okresie letnim charakteryzowały się zbliżonymi wartościami parametrów technologicznych — tab. 2. W obu seriach utrzymywano równomierne obciążenie hydrauliczne ok. 4,7 m³/m²·d, ilość osadu nadmiernego oraz stopień recykulacji osadu powrotnego. Średnia zawartość zawieszin lotnych kształtowała się na poziomie ok. 1500 g/m³.

W serii 3 dla uzyskania pełnej nitryfikacji przeciętną zawartość zawiesziny lotnej zwiększono do 2500 g/m³ co w porównaniu do serii 1 spowodowało zmniejszenie przeciętnego obciążenia osadu usuniętym ładunkiem BZT₅ z 0,11 do 0,03 g O₂/g smo·d; blisko 4-krotnie zmalało obciążenie osadu ładunkiem CZT, a dwukrotnie ładunkiem związków azotowych. Efektywność oczyszczania ścieków można określić na podstawie wyników badań przedstawionych w tabeli 3. We wszystkich seriach badawczych uzyskiwano pełną nitryfikację ścieków przy czym maksymalna zawartość azotu amonowego jaka wystąpiła w odpływie w serii pierwszej nie przekraczała 1,5 mg N_{NH4}/dm³. Rów-

Tabela 2

PARAMETRY TECHNOLOGICZNE KOMORY NITRYFIKACJI Z OSADEM CZYNNYM

L.p.	Parametry technologiczne	Jednostki	Seria I 7/8.06—23/24.07				Seria II 9/10.08—13/14.09				Seria III 15/16.11—11/12.12			
			10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	Czas napowietrzania	h	5,1	5,1	5,2	4,3	5,1	5,2	7,2	8,2	8,8	—	—	—
2	Temperatura ścieków	°C	16,2	18,0	19,2	16,2	17,9	19,6	8,6	10,7	11,9	—	—	—
3	Tlen rozpuszczony	mg/dm ³	0,9	2,8	6,3	1,8	4,6	5,4	1,6	3,2	5,1	—	—	—
4	Zawiesziny ogólne	mg/dm ³	1770	2140	3400	2240	2500	2760	3360	3660	3930	—	—	—
5	Zawiesziny lotne	mg/dm ³	1210	1460	2000	1500	1570	1800	2260	2490	2630	—	—	—
6	Obciążenie osadu	g O ₂ /g smo·d	0,020	0,110	0,280	0,036	0,080	0,210	0,021	0,032	0,050	—	—	—
6.1	ładunkiem	g O ₂ /g smo·d	0,043	0,220	0,450	0,045	0,143	0,430	0,031	0,053	0,125	—	—	—
6.2	BZT ₅	g N/g smo·d	0,016	0,040	0,088	0,014	0,044	0,120	0,012	0,018	0,024	—	—	—
6.3	CZT	g N/g smo·d	0,020	0,050	0,078	0,021	0,039	0,132	0,014	0,020	0,029	—	—	—
6.4	N-NH ₄	g O ₂ /g smo·d	69	106	142	69	92	123	72	97	118	—	—	—
7	N-N ogólny	cm ³ /g	14	18	23	11	14	23	34	50	57	—	—	—
8	Szybkość poboru tlenu	dm ³ /d	—	30	40	—	30	40	28	30	40	—	—	—
9	Indeks osadu	g/m ³	—	40	40	—	40	41	55	58	64	—	—	—
10	Wiek osadu	g/m ³	5600	8000	10500	7800	9200	9700	7600	9100	10400	—	—	—
11	Osad nadmierny	m ³ /h	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,60	0,66	0,66	—	—	—

niez niskie było stężenie azotanów, kształtujące się na poziomie poniżej 0,3 mg N_{NO2}/dm³. Wahania pomiędzy średnim i maksymalnym stężeniem azotanów były we wszystkich seriach

CHARAKTERYSTYCZNE WYNIKI BADAN NAD OCZYSZCZANIEM ŚCIEKÓW W KOMORZE NITRYFIKACJI Z OSADEM CZYNNYM

L.p.	Wskaźnik zanieczyszczenia	Rodzaj próby	SERIA—I			SERIA—II			SERIA—III		
			10‰	50‰	90‰	10‰	50‰	90‰	10‰	50‰	90‰
1	Odczyn	pH	III—1	7,4	7,5	7,8	7,3	7,5	7,6	7,1	7,3
			III—3	7,2	7,5	7,9	7,4	7,5	7,6	7,0	7,2
2	Mętność	mg SiO ₂ /dm ³	III—1	30	55	120	55	60	70	45	60
			III—3	25	40	50	25	35	40	25	30
3	Zasadowość	mval/dm ³	III—1	3,5	4,6	6,0	3,8	5,0	5,8	2,9	4,0
			III—3	1,9	2,8	4,0	2,8	3,3	3,6	1,9	2,1
4	Twardość	°tw	III—1	9,8	17,4	26,0	16,2	17,4	19,0	13,9	14,6
			III—3	9,8	16,2	22,4	15,9	16,5	17,1	12,9	13,9
5	BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	III—1	16,5	43,0	129,0	22,0	40,0	95,0	30,0	40,0
			III—3	9,0	15,0	25,0	7,0	14,5	20,0	10,0	12,0
6	CZT	mg O ₂ /dm ³	III—1	42	112	220	59	85	211	60	86
			III—3	27	44	55	23	39	55	28	36
7	Azot amonowy	mg N/dm ³	III—1	4,0	16,0	25,0	6,0	16,0	44,0	10,0	18,0
			III—3	0,1	0,1	1,5	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1
8	Azot azotynowy	mg N/dm ³	III—1	0,16	1,00	1,50	0,05	0,70	1,20	0,30	0,50
			III—3	0,03	0,20	0,30	0,00	0,05	0,10	0,05	0,10
9	Azot azotanowy	mg N/dm ³	III—1	0,3	9,8	15,0	0,4	10,0	21,6	8,0	11,0
			III—3	17,0	25,5	30,0	19,4	26,0	30,0	22,0	27,0
10	Azot organiczny	mg N/dm ³	III—1	2,8	5,5	8,5	3,0	5,4	8,1	3,2	6,4
			III—3	1,6	2,9	5,0	2,5	4,0	5,6	1,4	3,5
11	Fosforany	mg P/dm ³	III—1	1,6	4,4	5,3	4,0	5,0	5,5	4,2	5,2
			III—3	1,4	3,3	4,9	3,1	4,3	5,0	4,0	5,0
12	Fenole	mg/dm ³	III—1	—	—	—	—	0,033	—	—	0,136
			III—3	—	—	—	—	0,022	—	—	0,033
13	Cyjanki	mg/dm ³	III—1	—	—	—	—	0,039	—	—	0,040
			III—3	—	—	—	—	0,020	—	—	0,028
14	Chlorki	mg Cl/dm ³	III—3	92	95	98	93	99	108	78	86
15	Siarczany	mg SO ₄ /dm ³	III—3	208	271	312	229	265	336	140	144
16	Zawiesiny ogólne	mg/dm ³	III—1	35	80	170	42	80	160	40	75
			III—3	23	45	65	26	45	65	20	37
17	Żelazo	mg Fe/dm ³	III—1	0,370	0,630	0,890	0,285	0,505	0,920	—	—
			III—3	0,235	0,235	0,235	0,110	0,235	0,470	—	—
18	Mangan	mg Mn/dm ³	III—1	0,100	0,120	0,140	0,074	0,126	0,220	—	—
			III—3	0,045	0,065	0,085	0,036	0,058	0,095	—	—
19	Miedź	mg Cu/dm ³	III—1	0,010	0,011	0,012	0,008	0,009	0,010	—	—
			III—3	0,007	0,008	0,009	0,006	0,007	0,009	—	—
20	Cynk	mg Zn/dm ³	III—1	0,185	0,208	0,230	0,150	0,193	0,230	—	—
			III—3	0,110	0,130	0,150	0,125	0,156	0,185	—	—
21	Ołów	mg Pb/dm ³	III—1	0,020	0,033	0,045	0,040	0,062	0,090	—	—
			III—3	0,020	0,020	0,020	0,030	0,040	0,050	—	—

niewielkie, mieszcząc się w przedziale od 25 do 30 mg N_{NO₃}/dm³. Stopień usuwania azotu organicznego w komorze nitryfikacji nie przekraczał 50‰.

Potwierdzeniem przebiegu procesu nitryfikacji były zmiany w zasadowości, spadek tego wskaźnika wynosił ok. 2 mval/dm³. W mniejszym stopniu malała twardość — ok. 1°tw.

Denitryfikacja

Badania nad procesem denitryfikacji miały na celu określenie parametrów technologicznych, umożliwiających uzyskanie w wodzie przemysłowej wymaganego stężenia azotanów na poziomie ≤ mg N_{NO₃}/dm³. Zakres badań obejmował serię testów laboratoryjnych oraz doświadczenia przeprowadzone na stacji modelowej.

Testy laboratoryjne wykonywane na osadzie czynnym, pochodzącym z układu nitryfikacyjnego, prowadzono z udziałem ścieków składowanych po nitryfikacji III-3, po złożach biologicznych III-1 i po osadnikach wstępnych S-1. Uwzględniając duże zmiany w stężeniu zawieszin lotnych w poszczególnych testach interpretację uzyskanych wyników oparto na zależności pomiędzy stopniem usuwania azotanów a obciążeniem osadu, zredukowanym ładunkiem tego wskaźnika — rys. 2.

Porównując uzyskane rezultaty przy wybranym obciążeniu 0,02 g N_{NO₃}/usun./g smo·d

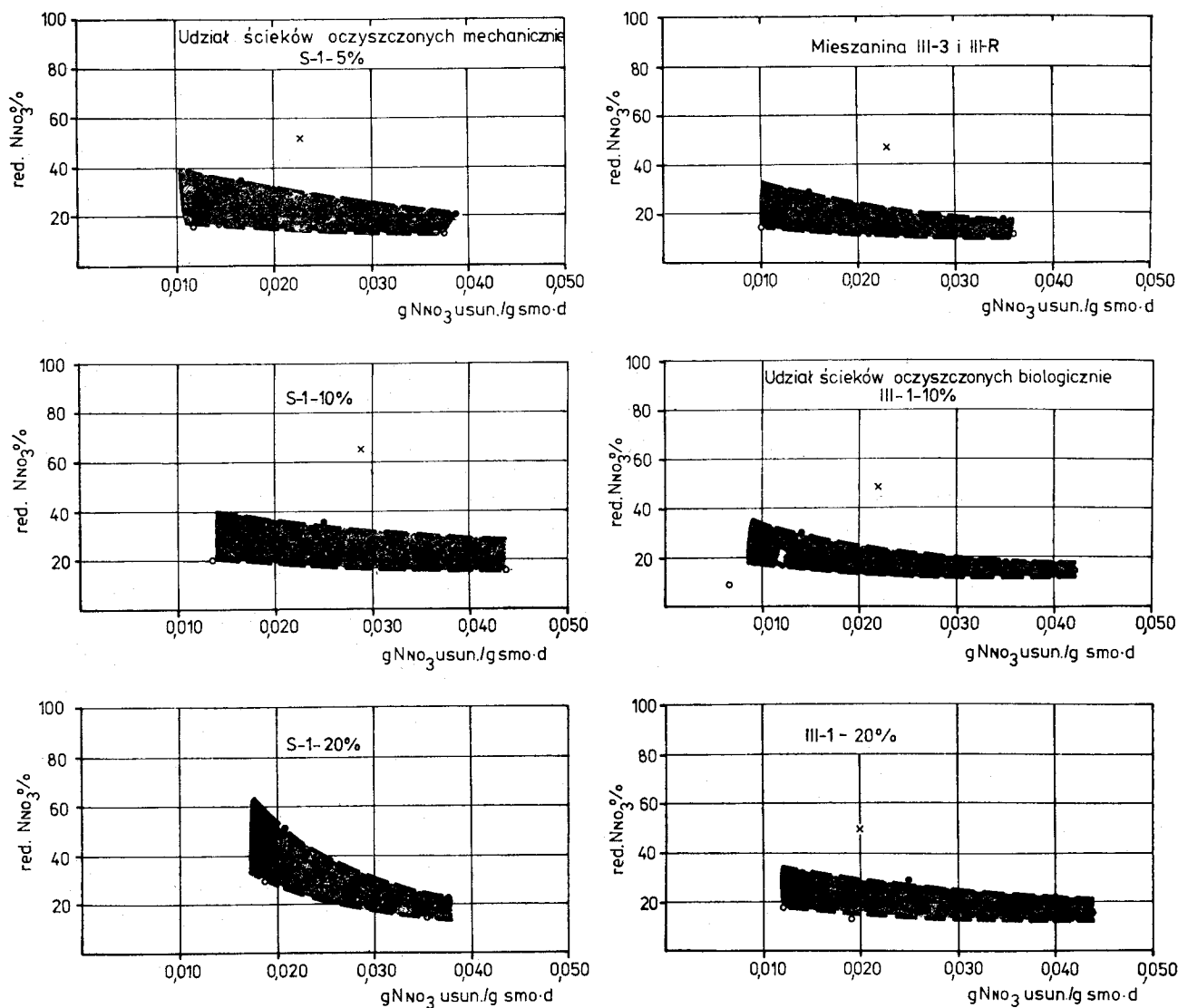
można stwierdzić, że dodatek ścieków III-1 wpływał w niewielkim stopniu na zwiększenie redukcji azotanów oraz, że 50‰ udziału ścieków S-1 równoważy już wpływ 200‰ dodatku ścieków III-1. Badania testowe wykazały, że w celu zwiększenia efektywności jednostopniowego procesu wydzielonej denitryfikacji korzystny byłby ok. 200‰ dodatek ścieków oczyszczonych mechanicznie oraz zastosowanie niskiego obciążenia osadu rekompensującego niewielką prędkość przebiegu redukcji azotanów.

W porównaniu do testów laboratoryjnych badania w skali modelowej ze względów technicznych prowadzono wyłącznie z dodatkiem ścieków III-1. W pierwszej serii badań do komory nitryfikacji dopływały ścieki tylko częściowo znitryfikowane zawierające ok. 20 mg N_{NH₄}/dm³ amoniaku i 14 mg N_{NO₃}/dm³ azotanów. W serii drugiej, przy sprawnym przebiegu utleniania azotu amonowego stężenie azotanów na wlocie do komory denitryfikacji było znacznie wyższe, osiągając wartości w zakresie od 20 do 26 mg N_{NO₃}/dm³. Całkowity czas przepływu przez urządzenie denitryfikacyjne wynosił w obu seriach ok. 10 h również występujące w obu seriach różnice temperatur były nieznaczne i przy wartościach przeciętnych 9,0 i 9,5°C w punkcie pomiarowym D-2.2 nie przekraczały 3,5°C.

Zależność pomiędzy zawartością azotanów w odpływie z osadnika poddenitryfikacyjnego a obciążeniem osadu zredukowanym ładunkiem tego wskaźnika (rys. 3) pozwala określić niezbędne

CZAS KONTAKTU

• 4h • 6h x 16h

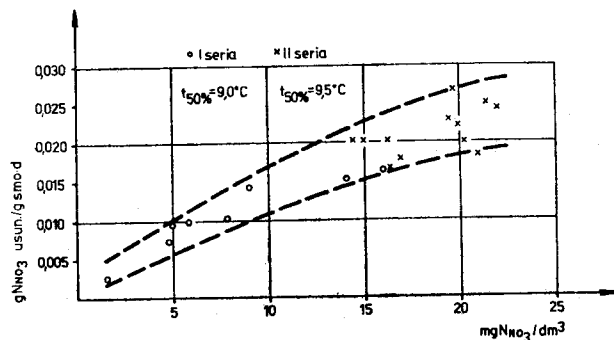


Rys. 2 Stopień usuwania azotanów w zależności od obciążenia osadu ładunkiem N_{NO_3} według testów laboratoryjnych.

stężenie zawiesin lotnych, umożliwiającą uzyskanie wymaganego poziomu stężenia azotanów w okresie występowania niskich temperatur. Przy łącznym czasie przetrzymywania ścieków w urządzeniach denitryfikacyjnych 10 h uzyskuje się w odpływie $15 \text{ mg } N_{NO_3}/\text{dm}^3$ przy zawartości zawiesin lotnych $2000 \text{ mg}/\text{dm}^3$ i obciążeniu $0,015 \text{ g } N_{NO_3}/\text{usun.}/\text{g smo} \cdot \text{d}$. Stężenie zawiesin lotnych w przypadku wspomagania procesu ściekami oczyszczonymi mechanicznie mogłoby ulec zmniejszeniu o ok. 20%.

W wyniku częściowej flotacji zawiesin w osadniku podenitryfikacyjnym oraz procesów fizyko-chemicznych, zachodzących przy niskiej zawartości tlenu rozpuszczonego, obserwowano w odpływie wyraźny wzrost barwy i mętności oraz stwierdzono blisko dwukrotne zwiększenie wartości CZT i węgla organicznego. Ze względu na jakość odpływu z osadnika podenitryfikacyjnego, nawet przy niepełnej denitryfikacji, niezbędne jest zastosowanie kolejnego stopnia oczyszczania w warunkach tlenowych.

Wykorzystując uzyskane rezultaty z bezpośrednich badań w procesach jednostopniowych oraz dane literaturowe [8] zaproponowano wykonanie zmodyfikowanego układu nityfikacji-denitryfikacji, w którym oba te procesy przebiegały na przemian w jednym zblokowanym ciągu urządzeń (rys. 6).



Rys. 3 Zawartość azotanów w odpływie z osadnika podenitryfikacyjnego w zależności od obciążenia osadu

Funkcje jakie mają spełniać poszczególne strefy zblokowanej komory nitrifikacji i denitryfikacji są następujące: 1-wsza strefa nitrifikacji (1N) — uzyskanie wysokiego stopnia utleniania azotu amonowego, ilość doprowadzanych ścieków 0,8 Qd, 1-wsza strefa denitryfikacji (1D) — wspomaganie 20% dodatkiem ścieków oczyszczonych mechanicznie powinna zapewnić ok. 40% redukcję azotanów, 2N — usunięcie produktów gazowych denitryfikacji i nitrifikację amoniaku, pozostałego w odpływie z 1D, 2D — uzyskanie ok. 20% redukcji azotanów, 3N — usunięcie produktów gazowych denitryfikacji i natlenienie ścieków.

Do obu stref denitryfikacyjnych wyposażonych w mieszadła wodnoobrotowe doprowadzany będzie osad powrotny, a utrzymywanie wymaganej zawartości osadu czynnego na poziomie ok. 2000 mg smo/dm³ umożliwi zainstalowanie rurociągu, doprowadzającego osad po złożach biologicznych oczyszczalni miejskiej.

Koagulacja

Badania procesu koagulacji ścieków po nitrifikacji prowadzono w skali laboratoryjnej i modelowej. Na podstawie testów laboratoryjnych dokonano wyboru koagulantu oraz ustalono podstawowe parametry procesu.

W oparciu o kryteria technologiczno-ekonomiczne [1, 2] spośród badanych koagulantów — FeCl₃, FeSO₄·7H₂O, Ca(OH)₂ i Al₂(SO₄)₃·18 H₂O wybrano siarczan glinu. Wyniki testów laboratoryjnych z siarczanem glinu zweryfikowano na stacji modelowej. Badania w skali modelowej prowadzono w następującym zakresie parametrów technologicznych:

- szybkie mieszanie z koagulantem 180s, G=400 s⁻¹
- szybkie mieszanie z flokulantem 30 s, G=400 s⁻¹
- flokulacja 40 min, G=20 s⁻¹
- sedymentacja 140 min.

Badania modelowe potwierdziły wysoką efektywność koagulacji siarczanem glinu ścieków biologicznie oczyszczonych w zakresie usuwania podstawowych zanieczyszczeń. Zastosowanie optymalnej dawki 100 mg Al₂(SO₄)₃·18 H₂O/dm³ pozwalało obniżyć CZT o 54%, utlenialność o 38%, węgiel organiczny o 53%, barwę o 66% i mętność o 70%, przy czym wartości wskaźników charakteryzujących zanieczyszczenia organiczne odpowiadały normatywom wód powierzchniowych I kl. czystości. Zwiększenie dawki koagulantu do 150 mg/dm³ stosunkowo nieznacznie poprawiło ogólne efekty oczyszczania; np usunięcie CZT wzrastało o 8%, barwy o 6% i mętności o 7%.

Siarczan glinu w stosowanych dawkach powodował obniżenie odczynu ścieków do pH około 7. Przy takiej wartości odczynu ścieki posiadały zdolność rozpuszczania węglanu wapnia, co świadczy o ich podwyższonych właściwościach korozyjnych (indeks nasycenia < -0,5). W ce-

lu poprawy w ściekach równowagi węglanowo-wapniowej, przeprowadzono testy koagulacji siarczanem glinu z dodatkiem wapna hydratyzowanego. W oparciu o wyniki laboratoryjne zastosowano dawkę 30 mg/dm³ wodorotlenku wapnia. Koagulację prowadzono w sposób ciągły przez okres 48 godz. przy średniej temperaturze ścieków 11°C. Wyniki analiz ścieków przed i po procesie koagulacji ilustruje tab. 4. Przedstawione dane potwierdzają dobre efekty koagulacji mieszaniną Al₂(SO₄)₃·18 H₂O + Ca(OH)₂ w zakresie usuwania zanieczyszczeń organicznych, mętności i barwy.

Dodatek wapna poprawiał równowagę węglanowo-wapniową, indeks nasycenia w próbach po koagulacji był ≥ -0,5. Wartość indeksu nasycenia w niektórych próbach równa -0,5 wskazuje, że w praktyce należy się liczyć z koniecznością dawkowania większych niż 30 mg/dm³ ilości wodorotlenku wapnia, zwłaszcza w przypadkach gdy temperatura ścieków spadnie poniżej 10°C.

W końcowej fazie prac na stacji modelowej sprawdzono wspomagającą rolę polielektrolitu anionowego w procesie koagulacji siarczanem glinu. Koagulację wspomaganą prowadzono przy temperaturze ścieków 8,8—10°C stosując dawkę siarczanu glinu 75 mg/dm³ i 1 mg/dm³ substancji aktywnej rokrysolu WF-2.

Porównanie średnich efektów oczyszczania uzyskanych w koagulacji z flokulantem i bez dodatku flokulantu ilustruje tab. 5. Przedstawione dane nie wskazują jednoznacznie na pozytywny wpływ polielektrolitu na efektywność koagulacji. Wprawdzie średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia po procesie koagulacji wspomaganiej były niższe w porównaniu do wartości wskaźników po koagulacji bez polielektrolitu, lecz równocześnie ścieki przed koagulacją wspomaganą charakteryzowały się lepszą jakością. Sumaryczne usunięcie zanieczyszczeń organicznych, barwy, mętności i ortofosforanów w obu przypadkach było na podobnym poziomie. Wysoka cena rokrysolu WF-2, około 30-krotnie wyższa od siarczanu glinu, podważa celowość stosowania koagulacji wspomaganiej przy temperaturze ścieków >8°C. Natomiast, w oparciu o badania laboratoryjne, nie można wykluczyć konieczności wspomagania procesu koagulacji gdy temperatura ścieków spadnie poniżej 8°C. Badania koagulacji ścieków o zróżnicowanym składzie fizyko-chemicznym wykazały szeroki rozrzut optymalnych dawek siarczanu glinu i równocześnie wyraźną korelację dawki koagulantu z wybranymi wskaźnikami zanieczyszczenia w ściekach przed koagulacją. Analiza wyników badań wykazała, że pomiędzy optymalną dawką a wartością wskaźników zanieczyszczenia występuje zależność spełniająca równanie:

$$y = a + bx$$

gdzie:

y — optymalna dawka siarczanu glinu g/m³
x — wartość wskaźnika zanieczyszczenia.

Tabela 4

KOAGULACJA SIARCZANEM GLINU Z DODATKIEM WODORTLENKU WAPNIA ŚCIEKÓW BIOLOGICZNIE OCZYSZCZONYCH

Wskaźnik zanieczyszczenia	PRZED KOAGULACJĄ										PO KOAGULACJI: Al ₂ (SO ₄) ₃ 18 H ₂ O=100mg/dm ³ Ca(OH) ₂ =30 mg/dm ³									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	11.XII	
Temperatura, °C	12	12	12	11,5	11	11	10,5	10	10	12	12,5	12,5	12	11,5	11,5	10	10	10,5	10,5	
CZT, mg O ₂ /dm ³	39	23,5	31,5	23,5	39	34	31,5	37,5	31,5	20	16	16	19	27	23	23	26,5	19	19	
Ułotniałość, mg O ₂ /dm ³	10,0	6,0	9,5	7,8	10,5	10,0	9,5	11,5	9,0	6,2	4,7	4,0	5,5	6,7	6,0	5,5	8,0	5,0	5,0	
Barwa, mg Pt/dm ³	20	20	25	25	25	20	20	25	20	12	10	12	10	15	12	12	15	10	10	
Mętność, mg SiO ₂ /dm ³	27	25	23	30	30	27	25	24	28	13	7,4	7,5	10	10	8	12	10	10	10	
Odczyn pH	7,3	7,4	7,4	7,2	7,4	7,5	7,3	7,4	7,4	7,4	8	13	7,4	7,7	7,75	7,5	7,6	7,6	7,6	
Zasadowość, mval/dm ³	1,85	2,0	1,8	1,8	2,0	2,0	1,85	1,7	2,0	1,8	1,9	1,9	1,8	1,9	1,85	1,8	1,8	1,85	1,85	
Ortofosforany, mg P/dm ³	5,7	5,3	5,3	5,4	5,2	5,6	5,1	5,2	5,5	0,5	0,3	0,6	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	
Wapń, mg/dm ³	70	68	64	65	72	72,5	68	60	74	92	87	82	81	93,5	95	88	80	94,5	94,5	
Indeks nasycenia (obliczony wg PN-72/C-04809/)	-0,6	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,4	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,5	-0,1	-0,0	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	

Poniżej zestawiono współczynniki korelacji R, wariancję resztową syx oraz równania regresji dla następujących wskaźników:

przepuszczalność

$$y = 245 - 2,2 \cdot x, \quad R = 0,82 \quad syx = 14,3$$

mętność

$$y = 66 + 0,7 \cdot x, \quad R = 0,75 \quad syx = 18,2$$

fosforany

$$y = 44 + 13,2 \cdot x, \quad R = 0,65 \quad syx = 19,0$$

Z przedstawionych zależności wynika, że najlepszą korelację uzyskano pomiędzy dawką koagulanta a transmisją przy długości fali 270 nm. Pomiar przepuszczalności może być stosunkowo łatwo zrealizowany w sposób ciągły stwarzając możliwość autentycznego sterowania optymalną dawką koagulanta w skali technicznej.

Filtracja

Uzyskanie proponowanych kryteriów jakości odnowionej wody dla potrzeb przemysłowych [3, 7] wymagało zastosowania procesu filtracji. W oparciu o prace doświadczalne Politechniki Warszawskiej [4] skonstruowano filtr modelowy dwuwarstwowy (antracyt-piasek) o charakterystyce przedstawionej na rysunku 4.

Testy filtracji prowadzono w zakresie obciążeń hydraulicznych od 5 do 17,5 m/h, utrzymując w każdym badanym cyklu stałą prędkość filtracji poprzez regulację oporów na wylocie z filtra. W każdym cyklu filtracji kontrolowano co 2 godziny straty ciśnienia na złożu oraz z tą samą częstotliwością oznaczano w filtracji mętność. W momencie gdy mętność w filtracji przewyższała wartość mętności na dopływie, filtrację przerywano i filtr płukano. Przed podłączeniem wody płuczającej, przez złożo filtracyjne przepuszczano pulsacyjnie przez 2 min. powietrze w ilości 18—20 dcm³/s.m². Następnie filtr płukano wodą o takim natężeniu aby utrzymać ekspansję złoża w granicach 40—60%. Rejestrowano ilość wody płuczającej oraz czas potrzebny do odzyskania charakterystyki filtra sprzed cyklu filtracyjnego.

Porównanie cykli filtracji przy różnych prędkościach (rys. 5) wskazuje, że najbardziej niekorzystne efekty uzyskano przy skrajnych obciążeniach tj. przy 5 m/h i 17,5 m/h. Przy prędkości 5 m/h po przefiltrowaniu 180 m³ oczyszczanych ścieków w przeliczeniu na 1 m² powierzchni filtra następuje szybki wzrost strat ciśnienia na złożu filtracyjnym na skutek powierzchniowej blokady warstwy filtracyjnej. Świadczy to o niedostatecznej prędkości filtracji, przez co właściwości filtracyjne złoża nie zostają w pełni wykorzystane.

Przy prędkości 17,5 m/h mętność w filtracji przekraczała 10 mg SiO₂/dm³ już przy stratach ciśnienia rzędu 100—120 cm słupa wody co odpowiadało 10—12 godzinom pracy filtra. Niezadowalająca jakość filtratu przy stosunkowo niskich stratach ciśnienia świadczy o częściowym przenikaniu separowanych zanieczyszczeń przez złożo filtracyjne wskutek zbyt dużej prędkości filtracji.

Najlepsze efekty dla badanego złoża uzyskano przy prędkości filtracji 12 m/h. Przy tej prędkości mętność w filtracji przekraczała 10 mg SiO₂/dm³ po 34 godz. pracy filtra i stratach ciśnienia powyżej 150 cm słupa wody.

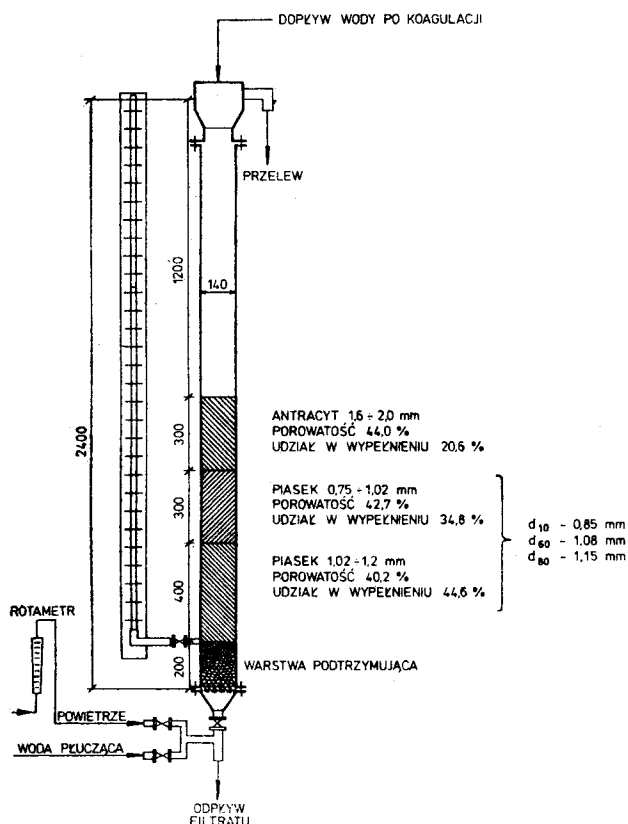
Ocenę jakości filtratu przeprowadzono na podstawie porównania wskaźników zanieczyszcze-

**ŚREDNIE WARTOŚCI PODSTAWOWYCH WSKAZNIKÓW ZANIECZYSZCZENIA W PROCESIE KOAGULACJI SIARCZANEM GLINU
Z DODATKIEM POLIELEKTROLITU ANIONOWEGO**

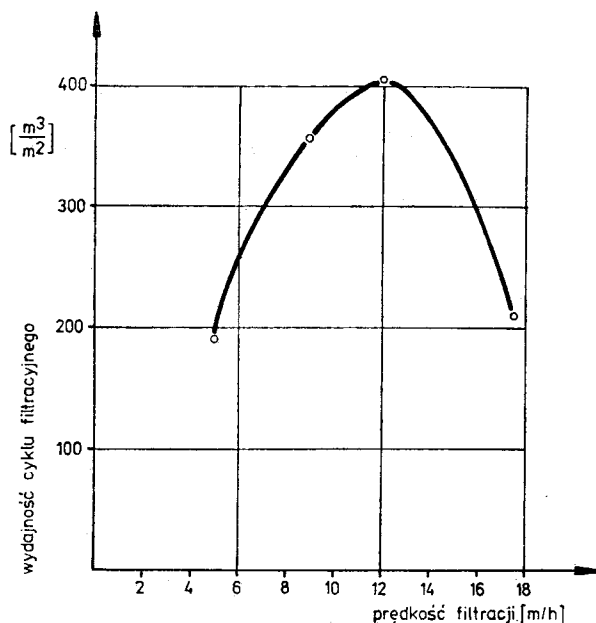
Tabela 5

Dawka koagulantu	Średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia																	
	1 — przed koagulacją 2 — po koagulacji																	
	CZT mg O ₂ /dm ³	% redukcji	Utlenialność mg O ₂ /dm ³	% redukcji	Węgiel organiczny mg/dm ³	% redukcji	Barwa mg Pt/dm ³	% redukcji	Mętność mg SiO ₂ /dm ³	% redukcji	Ortofosforany mg P/dm ³	% redukcji						
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ 75 mg/dm ³	38	23,3	39	12,4	8,5	32	12,7	8,7	32	30	16,5	45	38	16,3	54,5	5,5	1,36	75
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ 75 mg/dm ³ + WF-2 1 mg/dm ³	27,2	16,4	40	10,3	6,5	37	12	8,5	30	27	13,8	49	27,3	11,6	57	4,8	1,0	79

nia odnawianej wody przed i po filtrze. Wykonano trzy cykle filtracji, w których ścieki koagulowano w cyklu I siarczanem glinu, dawka 100 mg/dm³, w cyklu II siarczanem glinu 75 mg/dm³ i polielektrolitem WF-2, 1 mg/dm³, w cyklu III siarczanem glinu 100 mg/dm³ z dodatkiem Ca(OH)₂ 30 mg/dm³.



Rys. 4 Charakterystyka dwuwarstwowego filtra modelowego



Rys. 5 Ilość filtratu o wymaganej jakości otrzymywanego w jednym cyklu filtracyjnym w zależności od prędkości filtracji

Ścieki po filtracji — tab. 6 charakteryzowały się zmniejszoną zawartością zanieczyszczeń organicznych w tym CZT ulegało zmniejszeniu do 20%, a węgiel organiczny do 11%. Stwierdzono również około 20% redukcję barwy i żelaza ogólnego. W znacznie wyższym stopniu usunięte zostały na filtrze mętność, zawiesina i fosforany. Zawiesina ogólna średnio była redukowana w 57%, mętność w 59%, a ortofosforany w 40%. Niezależnie od sposobu koagulacji, ścieki po filtrze posiadały jednolity skład fizyczno-chemiczny i we wszystkich badanych wskaźnikach spełniały wymogi stawiane w proponowanych normatywach jakości wód odnawianych dla celów przemysłowych.

Wskaźnik zanieczyszczenia			CYKL I			CYKL II			CYKL III		
			8—9.XI		%usu- nięcia	27—28.XI		%usu- nięcia	10—11.XII		%usu- nięcia
			dopływ	odpływ		dopływ	odpływ		dopływ	odpływ	
Temperatura,	°C		10,5	10,5	—	10	10	—	11	11	—
CZT,	mg	O ₂ /dm ³	24	20	17	18	17	6	21	20	5
Utlenialność,	mg	O ₂ /dm ³	8,2	8,0	3	7,5	7,0	6	6,5	6,0	7
Węgiel organiczny,		mg/dm ³	12,0	11,5	5	9,5	8,5	10	10,0	8,9	11
Barwa,	mg	Pt/dm ³	15	12	20	12	10	17	12	10	17
Mętność,	mg	SiO ₂ /dm ³	18,0	7,5	59	15,5	6,5	58	16,5	6,5	60
Zawiesina ogólna,		mg/dm ³	14	7	50	13	5	62	15	6	60
Przepuszczalność		ZT0, %	73,2	79,0	—	78,0	83,5	—	77,5	82,5	—
Odczyn,		pH	7,1	7,0	—	7,3	7,2	—	7,6	7,4	—
Zasadowość,		mval/dm ³	2,6	2,5	—	2,2	2,2	—	1,8	1,8	—
Fosfor ogólny,	mg	P/dm ³	0,8	0,4	50	1,0	0,8	20	0,7	0,5	30
Ortofosforany,	mg	P/dm ³	0,5	0,3	40	0,6	0,5	17	0,5	0,2	60
Azot organiczny,	mg	N/dm ³	4,8	4,4	9	5,2	5,0	4	3,7	3,3	10
Żelazo ogólne,	mg	Fe/dm ³	0,25	0,20	20	0,30	0,25	17	0,50	0,40	20
Mangan,	mg	Mn/dm ³	0,07	0,06	15	0,09	0,08	10	0,07	0,05	30
Cynk,	mg	Zn/dm ³	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0	0,6	0,6	0

Wnioski

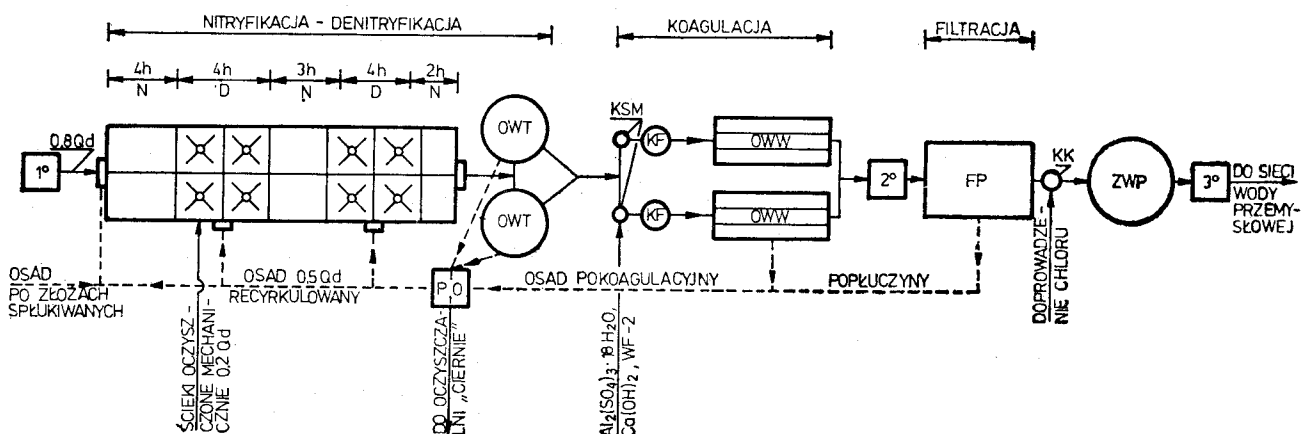
1. Wymaganą jakość wody dla potrzeb wybranych zakładów przemysłowych aglomeracji wałbrzyskiej można uzyskać w procesach odnowy, obejmujących intryfikację i denitryfikację z osadem czynnym, koagulację siarczanem glinu z dodatkiem wapna hydratyzowanego — wspomaganą w okresie występowania niskich temperatur polielektrolitem anionowym Rokrysol WF-2, filtrację prowadzoną na dwuwarstwowym filtrze pospiesznym antracytowo-piaskowym oraz dezynfekcję chlorem (rys. 6).

2. W badaniach uzyskano wymagany skład fizyko-chemiczny wody przemysłowej w odniesieniu do większości kontrolowanych wskaźników zanieczyszczenia — tab. 7. Odnowiona woda o przeciętnej korozyjności, charakteryzować się będzie jednak podwyższoną twardością ogólną, a okresowo występować mogą również niewielkie przekroczenia dopuszczalnego stężenia siarczanów.

3. Jednostkowy koszt produkcji wody przemysłowej, pochodzącej z odnowy powinien się kształtować poniżej kosztów produkcji wody miejskiej jaką odbiorcom przemysłowym dostarcza Wałbrzyskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji. Dla obniżenia kosztów eksploatacyjnych Zakładu Odnowy Wody niezbędne byłoby zastosowanie automatycznej regulacji ilości dostarczanego powietrza do stref nityfikacyjnych oraz automatycznego sterowania dawką roztworu siarczanu glinu wprowadzanego do komór szybkiego mieszania.

LITERATURA

1. G.L. CULP andinni: Physical-Chemical Wastewater Treatment Plant Desing. US EPA, Technology Transfer, 1973.
2. W.W. ECKENFELDER: Water Quality Engineering for Practicing Engineers. Barnes and Noble. New York 1970.



OZNACZENIA

1° - PRZEPOMPOWNIA ŚCIEKÓW
OCZYSZCZONYCH NA ZŁOŻACH
SPŁUKIWANYCH

N - STREFA NITRYFIKACJI

D - STREFA DENTRYFIKACJI

OWT - OSADNIK WTÓRNY

PO - POMPOWNIA OSADÓW

KSM - KOMORA SZYBKIEGO
MIESZANIA

KF - KOMORA FLOKULACJI

OWW - OSADNIK WTÓRNY
WIELOSTRUMIENIOWY

EP - FILTR POSPIESZNY

KK - KOMORA KONTAKTOWA

ZWP - ZBIORNIK WODY
PRZEMYSŁOWEJ

Rys. 6 Schemat technologiczny Zakładu Odnowy Wody „Poniatów”

PORÓWNANIE JAKOŚCI WODY Z ODNOWY Z WYMAGANIAMI DLA WODY PRZEMYSŁOWEJ

L.p.	Wskaźnik zanieczyszczenia	Skład fizyko-chemiczny		
		ścieków oczyszczonych	wody z odnowy	wymagany dla wody przemysłowej
1.	Mętność	mg SiO ₂ /dm ³	20—80	<10
2.	Barwa	mg P/dm ³	30—80	<15
3.	Odczyn	pH	7,3—8,0	6,5—9,0
4.	Twardość ogólna	mval/dm ³	4—7	<5
5.	Twardość wapnia	mval/dm ³	—	<4
6.	Zasadowość ogólna	mval/dm ³	2,8—6,0	—
7.	BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	25—40	<10
8.	Utlenialność	mg O ₂ /dm ³	—	<20
9.	CZT	mg O ₂ /dm ³	60—90	<60
10.	Azot amonowy	mg N/dm ³	6—35	3—6
11.	Azot azotanowy	mg N/dm ³	1—16	<15
12.	Azot organiczny	mg N/dm ³	2—7	<10
13.	Fosforany	mg PO ₄ ⁻³ /dm ³	2,8—5,5	<1
14.	Chlorki	mg Cl ⁻¹ /dm ³	60—100	<250
15.	Siarczany	mg SO ₄ ⁻² /dm ³	130—350	<250
16.	Żelazo ogólne	mg Fe/dm ³	0,1—0,7	<0,5
17.	Zawiesina ogólna	mg/dm ³	20—100	<10
18.	Substancje rozpuszczone	mg/dm ³	—	<1000
19.	Przewodnictwo	μS	—	<1000
20.	Indeks nasycenia	—	>—0,5	>—0,5
21.	Indeks termostabilności	—	1±0,2	1±0,2
22.	Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /dm ³	>3	>2

3. J. JUSZCZAK: Charakterystyczne wskaźniki zanieczyszczeń wody z odnowy. IMGW, Kraków, 1978.
4. H. KŁOSS, M. ROMAN: Aktualny stan teorii i praktyki w zakresie filtracji ścieków. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Bud. Wod., Politechnika Warszawska, 1977.
5. A.L. KOWAL, T. KOWALSKI: Badania nad odzyskiem wody ze ścieków miejskich obejmujące procesy wymiany jonowej i dezynfekcję. Etap II, IIOŚ Politechniki Wrocławskiej, 1979.
6. A. NALBERCZYŃSKI i inni: Badania nad odzyskiem wody technologicznej z mieszaniny ścieków miejskich i wód rzeki Pełcznicy. IMGW, Wrocław, 1979.
7. D. ROGOZIŃSKA, A. NALBERCZYŃSKI: Zaopatrzenie zakładów przemysłowych aglomeracji wrocławskiej w wodę odzyskaną ze ścieków. IMGW, Wrocław, 1979.
8. US EPA: Nitrogen Control. USA, 1977.