

Sławomir SZERZYNA*

WPLYW KOREKTY ODCZYNU NA EFEKTY ZAGĘSZCZANIA OSADÓW POWSTAJĄCYCH W RÓŻNYCH UKŁADACH OCZYSZCZANIA WODY

Wprowadzenie nowych, bardziej wymagających, przepisów dotyczących jakości wody kierowanej do odbiorców wymusiło zwiększenie skuteczności usuwania zanieczyszczeń z wody, a w konsekwencji spowodowało powstawanie większej ilości osadów przypadających na jednostkę objętości oczyszczonej wody. Zwiększenie skuteczności usuwania najdrobniejszych zawiesin, mikroorganizmów oraz związków organicznych spowodowało zmniejszenie podatności osadów na zagęszczanie i odwadnianie. Ich przeróbka stanowi więc jeden z istotniejszych problemów w zakładach wodociągowych. Od skuteczności odwadniania osadów zależą między innymi koszty transportu do miejsca zagospodarowania lub utylizacji.

1. WSTĘP

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2010 nr 72 poz. 466), określa wymaganą jakość wody dostarczanej do odbiorców [7]. Aby spełnić te wymagania woda poddawana jest oczyszczaniu w Zakładach Oczyszczania Wody, podczas którego, w prawie wszystkich procesach jednostkowych powstają ścieki i osady. Osady powstające podczas oczyszczania wody stanowią mieszaninę wody osadowej i cząstek stałych. Podczas oczyszczania wody, w zależności od jej rodzaju i sposobu oczyszczania, mogą powstawać następujące osady: pokoagulacyjne, wodorotlenku żelaza (III) po procesie napowietrzania wody podziemnej, powstające podczas strąceniowych metod oczyszczania wody np. zmiękczenia, wydzielone podczas sedymentacji wstępnej realizowanej w układach oczyszczania wody powierzchniowej oraz wydzielone ze ścieków [4]. Do ścieków zalicza się popłuczyny powstające podczas płukania złóż

* Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Wroclawska, pl. Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław, slawomir.szerzyzna@pwr.edu.pl.

filtracyjnych, adsorpcyjnych i jonitowych, membran oraz mikrosit, roztwory poregeneracyjne i koncentraty powstające w procesach membranowych oraz powstające podczas płukania urządzeń stosowanych w układach oczyszczania wody.

Dokładna ilość osadów i popłuczyn powstających w zakładach oczyszczania wody (ZOW) nie jest znana, a szacuje się ją na około 5% objętości oczyszczanej wody. Wg Krocza [5] ilość popłuczyn powstająca w większości zakładów oczyszczających wody w Polsce stanowi od 0,03 do 18,33% wydajności ZOW, ale w większości przypadków nie przekracza 5%.

Zazwyczaj pierwszym procesem przeróbki i unieszkodliwiania osadów jest ich zagęszczanie. Wskutek oddzielenia wody wolnej od fazy stałej osad zmniejsza swoją objętość, ale nie traci właściwości płynnych, co umożliwia łatwy transport zagęszczonego osadu do dalszych procesów odwadniania. Ze względu na rodzaj siły działającej na cząstki osadu wyróżnia się zagęszczanie grawitacyjne realizowane w sposób ciągły lub okresowy (porcjowy), flotacyjne i mechaniczne.

O przebiegu i efektach procesu decyduje wiele czynników:

- początkowe uwodnienie osadów,
- rodzaj osadu,
- skład fizyczno-chemiczny zagęszczanych mediów, głównie zawartość substancji organicznych,
- czas zagęszczania,
- podatność cząstek osadu do sedymentacji i zagęszczania,
- sposób zagęszczania i rodzaj urządzeń zagęszczających,
- obciążenie zagęszczacza ładunkiem suchej masy,
- sposób kondycjonowania, rodzaj i dawka substancji kondycjonujących [1].

Głównymi wskaźnikami skuteczności zagęszczania są stopień zagęszczenia osadu (η_z) wyrażony jako iloraz suchej masy osadu zagęszczonego do suchej masy osadu przed zagęszczaniem oraz stopień zmniejszenia objętości (η_v) będący ilorazem objętości wydzielonej wody osadowej do objętości osadu przed zagęszczaniem [1].

Kondycjonowanie osadów jest procesem mającym na celu zmianę ich struktury i właściwości w takim stopniu, aby zwiększyć efektywność ich zagęszczania/odwadniania. Zmiana struktury osadów doprowadza między innymi do znacznego osłabienia sił wiążących wodę z powierzchnią cząstek stałych i łatwiejszego usunięcia wody w procesach odwadniania [3]. Kondycjonowanie realizuje się metodami fizycznymi lub chemicznymi.

Kondycjonowanie chemiczne polega na dawkowaniu do osadu reagentów nieorganicznych lub organicznych, które mają zapewnić zmianę struktury osadów. Modyfikacja struktury osadów polega głównie na destabilizacji koloidów, zmniejszeniu powierzchni właściwej i stopnia rozproszenia fazy stałej oraz zmniejszeniu sił powierzchniowych wiążących wodę. W konsekwencji kondycjonowania chemicznego powstają duże aglomeraty, które charakteryzują się większą wodoprzepuszczalnością i odpornością na ściskanie i ścinanie oraz zwiększa się ilość wody wolnej w osadzie

[4]. Wapno stosuje się głównie do kondycjonowania osadów przed procesem odwadniania za pomocą pras filtracyjnych i filtrów próżniowych. Jego dawki są większe niż w przypadku stosowania do kondycjonowania polielektrolitów i wynoszą zazwyczaj od 20 do 30% suchej masy osadu [2]. Poprawę skuteczności odwadniania osadów przy pomocy wapna można częściowo przypisywać zwiększeniu średnich rozmiarów cząstek osadu [8].

2. CZĘŚĆ EKSPERYMETNALNA

2.1. PRZEDMIOT, ZAKRES ORAZ SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ

Przedmiotem badań były osady powstające w trzech rzeczywistych układach oczyszczania wody:

1. Osad pokoagulacyjny (osad MD) powstający w wyniku koagulacji zanieczyszczeń wody realizowanej przy użyciu koagulantów glinowych i sedymentacji zawiesin pokoagulacyjnych w osadnikach o przepływie poziomym.

2. Osad powstający podczas oczyszczania wody podziemnej (osad L) w układzie: napowietrzanie otwarte, sedymentacja, filtracja przez złożę piaskowe, dezynfekcja. W wyniku płukania złożów filtracyjnych powstają popłuczyny. Złoża płukane są jednocześnie powietrzem i wodą przez około 30 minut. Próbkę osadów przeznaczoną do badań wydzielano z popłuczyn w wyniku ich wstępnego 24h zagęszczania i odzielenia osadu od wody nadosadowej.

3. Osady powstające w wyniku jednoczesnej dekarbonizacji i koagulacji zanieczyszczeń wody pobranej z rzeki Odry (osad K). Proces ten realizowany jest w osadniku o przepływie pionowym zespolonym z wirową komorą reakcji. Wapno dawkowane jest w postaci mleka wapiennego o stężeniu $2,5 \div 3,0\%$ CaO. Dawka wapna regulowana jest w sposób ciągły tak, aby zapewnić spełnienie następujących warunków: $zasF = 0,3 \div 0,5 \text{ val/m}^3$, $zasM = 0,6 \div 1,0 \text{ val/m}^3$ oraz $2zasF = zasM$. Dawka koagulantu, którym jest siarczan żelaza (II), jest stała. Nadmiar osadu z reaktorów odprowadzany jest do odstojników.

Zakres badań obejmował określenie:

- składu fizyczno-chemicznego badanych osadów,
- przebiegu i skuteczności porcjowego zagęszczania grawitacyjnego osadów,
- wpływu alkalizacji lub zakwaszenia na przebieg i skuteczność zagęszczania osadów oraz jakość wydzielonych wód nadosadowych.

Korekta pH osadów polegała na zmniejszaniu wartości tego parametru poprzez dodanie roztworu kwasu siarkowego VI lub alkalizacji przez dawkowanie mleka wapiennego przed zagęszczaniem. Zastosowanie stężonych reagentów pozwoliło uniknąć zmian uwodnienia początkowego próbek osadów, do których je dawkowano.

Wartości wybranych wskaźników składu fizyczno-chemicznego badanych osadów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości wybranych wskaźników jakości próbek osadów

Wskaźnik	Jednostka	próbka osadu								
		MDII	MDIV	MDVII	MDXI	LI	LIV	LV	KI	KIII
pH		7,18	7,18	7,6	7,05	7	8,12	7,55	10,3	9,9
zas M	val/m ³	3,65	3,3	3,24	3,15	3,27	5,45	3,56	0,71	0,47
Sucha pozostałość	g/m ³	7766	8324	4276	10799	6076	4950	5382	4656	6278
Pozostałość po prażeniu	g/m ³	5476	5488	2662	7038	4234	4078	4286	3278	4712
	% smo	70,51	65,93	62,25	65,17	69,68	82,38	79,64	70,40	75,06
Strata prażenia	g/m ³	2290	2836	1614	3761	1842	872	1096	1378	1566
	% smo	29,49	34,07	37,75	34,83	30,32	17,62	20,36	29,60	24,94
Zawiesiny ogólne	g/m ³	7366	7880	3790	10357	5626	4292	4750	4200	5886
	% smo	94,85	94,67	88,63	95,91	92,59	86,71	88,26	90,40	93,44
Zawiesiny mineralne	g/m ³	5226	5230	2340	6734	3926	3626	3826	2942	4414
Zawiesiny lotne	g/m ³	2140	2650	1450	3623	1700	666	924	1258	1472
Substancje rozpuszczone	g/m ³	400	444	486	442	450	658	632	456	392
Subst. rozp. mineralne	g/m ³	250	258	322	304	308	452	460	336	298
Subst. rozp. lotne	g/m ³	150	186	164	138	142	206	172	120	94
Uwodnienie	%	99,2	99,2	99,57	98,92	99,39	99,5	99,46	99,53	99,37
CSK ₀	s	22,6	25,1	23	64,7	23,3	25,4	22,8	24,1	32,1
Wapń	gCa/kg smo	78,4	59,6	115,8	65,8	55,99	62,84	61,74	342,1	298,5
	gCa/m ³	608,9	496,1	495,2	710,6	340,20	311,06	332,28	1592,8	1874,0
Magnez	gMg/kgsmo	38,4	34,4	6,1	8,3	9,78	19,56	10,28	42,2	21,3
	gMg/m ³	298,2	286,3	26,1	89,6	59,42	96,82	55,33	196,5	133,7
Glin	gAl/kg smo	57,6	27,6	91,6	86,7	-	-	-	7,84	18,41
	gAl/m ³	447,3	229,7	391,7	936,3	-	-	-	36,50	115,58
Żelazo ogólne	gFe/kg smo	9,6	7,4	128,4	172,4	381,2	538,8	452,1	38,4	25,7
	gFe/m ³	76,6	61,6	549,0	1861,7	2316,2	2667,1	2433,2	178,8	161,3
Mangan	g/kg smo	-	-	-	-	121,4	47,9	153,7	-	-
	g/m ³	-	-	-	-	737,6	237,1	827,2	-	-

Przed rozpoczęciem badań zagęszczania, próbki osadów dokładnie mieszano w celu zapewnienia równomiernego stężenia cząstek stałych w całej objętości badanej próbki. Zagęszczanie grawitacyjne osadów o znanym składzie i uwodnieniu początkowym (W_0) realizowano w szklanych cylindrach o pojemności 1 dm³ i jednakowej wysokości. Określenie przebiegu zagęszczania osadów polegało na obserwacji i rejestracji w czasie położenia płaszczyzny rozdziału między strefą osadu i wody nadosadowej. Po określonym czasie zagęszczania $t_{zag} = t_z + 30$ min zlewarowywano ciecz nadosadową, w której oznaczano wybrane wskaźniki jakości wód nadosadowych, oraz objętość (V_k), uwodnienie (W_k), czas ssania kapilarnego (CSK_k) osadu po zagęszczeniu i obliczano stopień jego zagęszczenia (η_z) i zmniejszenia objętości (η_v), zdolność

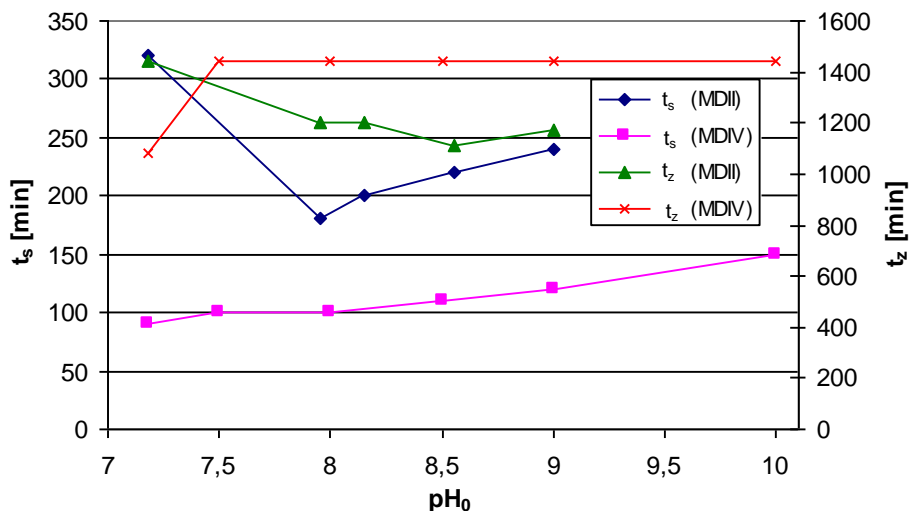
osadu do zagęszczania w fazie komprymacji (Z) oraz prędkość sedymentacji zawiesin (v_s).

2.2. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Alkaliczacja dwóch próbek osadu pokoagulacyjnego (MDII i MDIV) niekorzystnie wpłynęła na stopień ich zagęszczenia i zmniejszenia objętości, a także na jakość wydzielonych wód nadosadowych. Wpływ wzrostu stężenia jonów OH^- na czas sedymentacji cząstek stałych (t_s), czas komprymacji osadu (t_k) i wymagany czas zagęszczania (t_z) badanych próbek osadu był odmienny. Skrócenie czasu trwania faz procesu odwadniania stwierdzono dla gorzej zagęszczającego się osadu MDII, a wydłużenie tych parametrów procesu dla osadu MDIV (tab. 2, rys. 1).

Tabela 2. Wpływ korekty pH_0 na badane parametry procesu oraz osadów i jakość wydzielonych wód nadosadowych

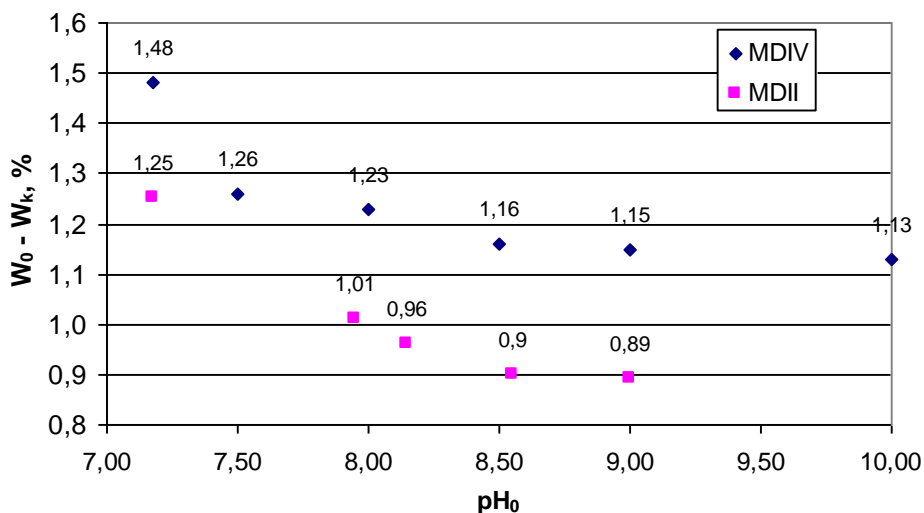
próbka os.		MDII					MDIV					
pH_0		7,18	7,95	8,15	8,55	9,00	7,18	7,50	8,00	8,50	9,00	10,00
osad												
V_k	cm^3	380	420	425	435	435	330	370	375	380	380	380
W_k	%	97,97	98,21	98,26	98,32	98,33	97,69	97,91	97,94	98,01	98,02	98,04
CSK_k	s	51,3	44,1	42,7	35,1	35,5	77,1	59,1	56,5	52,8	52,2	41,1
η_z		2,6	2,29	2,23	2,15	2,14	2,78	2,52	2,48	2,4	2,39	2,36
η_v	%	62	58	57,5	56,5	56,5	67	63	62,5	62	62	62
t_s	min	320	180	200	220	240	90	100	100	110	120	150
t_k	min	1120	1020	1000	890	930	990	1340	1340	1330	1320	1290
t_z	min	1440	1200	1200	1110	1170	1080	1440	1440	1440	1440	1440
Z		0,6	0,57	0,63	0,61	0,61	0,6	0,56	0,56	0,58	0,6	0,59
v_s	cm/min	0,038	0,051	0,055	0,045	0,041	0,166	0,111	0,114	0,105	0,104	0,08
woda nadosadowa												
pH_k		7,18	7,67	7,78	8,05	8,25	7,18	7,46	7,95	8,13	8,43	9,4
zas M	val/m^3	3,65	2,9	2,8	2,35	1,65	3,3	3,55	2,73	2,3	1,63	3,6
M	NTU	2,14	3,49	5,24	7,78	9,18	0,86	2,26	3,06	3,75	4,38	5,6
B	gPt/m^3	19,05	22,41	25,51	35,67	52	12,67	14,78	17,72	19,52	20,13	21,24
Utl	gO_2/m^3	8,4	12,1	13,3	15,1	20,3	5,74	7,78	7,98	8,74	9,18	9,62
Al	gAl/m^3	0,024	0,38	0,82	1,14	1,51	0,037	0,19	0,3	1,05	1,58	11,26
$t_{w_{og}}$	$^{\circ}\text{tw}$	15,1	13,4	13,1	8,1	7,3	18,4	17,1	14,8	12	11	14,1
Ca	gCa/m^3	77,1	67,9	67,2	45,0	40,7	95,7	104,3	82,1	75,7	68,6	82,9
	$^{\circ}\text{tw}$	10,8	9,5	9,4	6,3	5,7	13,4	14,6	11,5	10,6	9,6	11,6
Mg	gMg/m^3	18,4	16,7	15,9	7,7	6,9	21,4	10,7	14,1	6,0	6,0	10,7
	$^{\circ}\text{tw}$	4,3	3,9	3,7	1,8	1,6	5,0	2,5	3,3	1,4	1,4	2,5
Zaw _{og}	g/m^2	4	4	6	6	8	2	4	4	6	6	8



Rys. 1. Wpływ pH₀ na czas fazy sedymentacji (t_s) i wymagany czas zagęszczania (t_z) osadów

Przyspieszenie rozdziału faz osadu MDII mogło być spowodowane z jednej strony mniejszą zawartością substancji organicznych, a z drugiej większym udziałem w jego suchej masie połączeń wapnia i żelaza, których rozpuszczalność zmniejszała się ze wzrostem stopnia alkalizacji – do pH₀ = 9,0. Natomiast trudny jest do wyjaśnienia fakt, iż nie stwierdzono niekorzystnego wpływu związków glinu, których dwukrotnie więcej stwierdzono w próbce MDII. Wraz ze zwiększającą się wartością pH₀ zmniejszały się wartości η_z i η_v (tab. 2.) osadów MDII i MDIV, a zmniejszenie uwodnienia (W₀ – W_k) było nieznacznie większe dla osadu MDIV (rys. 2) charakteryzującego się mniejszą zawartością glinu.

Wzrost stężenia jonów OH⁻ zwiększający rozpuszczalność wodorotlenku glinu (Al(OH)₃ + OH⁻ → Al(OH)₄⁻) powodował niszczenie struktur cząstek osadu i uwalnianie komponentów zawiesin pokoagulacyjnych do wody. Wynikiem zachodzących zjawisk było zwiększenie poziomu zanieczyszczenia wód nadosadowych, wzrost mętności, intensywności barwy, utleniałości oraz stężenia glinu i zawiesin ogólnych. Wraz z postępującą alkalizacją wartości wymienionych wskaźników jakości wody zwiększały się, natomiast zas. M, twardość ogólna oraz stężenie wapnia i magnezu malały, co było efektem procesu dekarbonizacji wapnem. W wodzie wydzielonej z próbki osadu MDIV o pH₀ = 10,0 stwierdzono stężenie glinu = 11,26 gAl/m³ oraz pH_k = 9,4, a więc wartości większe niż dopuszczalne w ściekach odprowadzanych z wód lub do ziemi.



Rys. 2. Wpływ alkalizacji próbek osadu na zmniejszenie uwodnienia

Zakwaszenie próbek osadu pokoagulacyjnego, tak jak ich alkalizacja, spowodowało zmniejszenie skuteczności procesu zagęszczania (tab. 3). Stwierdzono jednak pozytywny wpływ zakwaszenia na wymagany czas zagęszczania, który skracał się wraz ze wzrostem stężenia jonów H^+ . Czas trwania fazy sedymentacji cząstek osadu MDVII po zakwaszeniu był dłuższy niż dla osadu surowego, natomiast odwrotną zależność stwierdzono w przypadku osadu o mniejszym uwodnieniu początkowym i mniejszym udziale związków organicznych w suchej masie (MDXI) (tab. 3).

O wydłużeniu czasu sedymentacji cząstek osadu MDVII współdecydowała prawdopodobnie prawie dwukrotnie większa zawartość związków wapnia i zwiększająca się ich rozpuszczalność wraz ze wzrostem stężenia jonów wodorowych. Wpływ zakwaszenia na jakość wód nadosadowych był różny; korzystny w odniesieniu do utlenialności, barwy i mętności, natomiast niekorzystny ze względu na stężenie żelaza ogólnego, wapnia i magnezu (tab. 3). Powyższe spowodowane było zmniejszającą rozpuszczalnością substancji organicznych w środowisku kwaśnym, natomiast wzrostem rozpuszczalności związków żelaza, wapnia i magnezu. Nie stwierdzono wpływu kondycjonowania osadu kwasem siarkowym na stężenie jonów glinu, a różnice w ich zawartości były bardzo małe i praktycznie mieszczące się w granicach błędów analizy. Negatywnym skutkiem korekty pH próbek osadu jest również niebezpieczeństwo nadmiernego zakwaszenia wód nadosadowych do $pH < 6,5$.

Tabela 3. Wpływ korekty pH₀ na badane parametry procesu oraz osadów i jakość wydzielonych wód nadosadowych

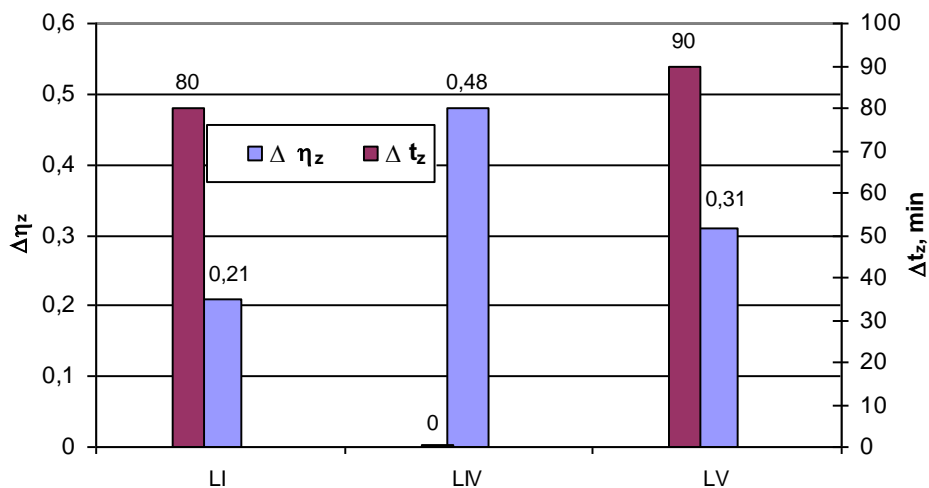
próbka os.		MDVII						MDXI				
pH ₀		7,60	7,00	6,50	6,00	5,50	5,00	7,05	6,50	6,00	5,50	5,00
osad												
V _k	cm ³	260	260	275	275	275	280	340	345	355	355	360
W _k	%	98,55	98,57	98,67	98,69	98,72	98,77	97,12	97,17	97,26	97,28	97,33
CSK _k	s	84,3	81,6	75,9	70,7	68,5	59,7	144,8	145,1	139	128,7	118,4
η _z		3,37	3,33	3,09	3,05	2,98	2,86	2,67	2,62	2,54	2,52	2,47
η _v	%	74	74	72,5	72,5	72,5	72	66	65,5	64,5	64,5	64
t _s	min	50	80	140	170	170	130	80	50	40	40	40
t _k	min	600	430	360	320	300	320	660	590	580	560	500
t _z	min	650	510	500	490	470	450	740	640	620	600	540
v _s	cm/min	0,262	0,134	0,091	0,088	0,094	0,115	0,135	0,256	0,248	0,218	0,218
woda nadosadowa												
pH _k		7,6	7,32	6,88	6,55	6,12	5,7	7,05	6,84	6,5	5,99	5,44
zas M	val/m ³	3,24	3,16	2,7	1,96	1,28	0,7	3,15	2,5	1,73	1,00	0,55
M	NTU	0,92	0,72	0,64	0,65	0,69	1,05	20,1	12,1	8,77	7,08	5,53
B	gPt/m ³	8,2	6,05	5,1	4,55	3,97	4,83	24,69	17,86	15,64	12,9	14,57
Utl	gO ₂ /m ³	4,6	4,25	3,85	3,44	3,16	3,56	13,6	12,38	10,06	8,14	7,98
Al	gAl/m ³	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,019	0,014	0,018	0,017	0,017	0,016
Fe	gFe/m ³	0,037	0,124	0,327	0,54	0,738	1,74	0,365	0,465	0,554	0,922	2,034
tw _{og}	°tw	18	20,2	20,4	21,2	22,8	24,4	15,1	17,6	20,5	24,1	28,3
Ca	gCa/m ³	101,4	104,3	112,9	124,3	135,7	145,7	79,3	92,9	109,2	133,6	156,4
	°tw	14,2	14,6	15,8	17,4	19,0	20,4	11,1	13,0	15,3	18,7	21,9
Mg	gMg/m ³	16,3	24,0	19,7	16,3	16,3	17,1	17,1	19,7	22,3	23,1	27,4
	°tw	3,8	5,6	4,6	3,8	3,8	4,0	4,0	4,6	5,2	5,4	6,4
Zaw _{og}	g/m ³	2	2	2	2	2	4	26	10	8	6	6

Alkaliczacja próbek osadu wydzielonego z wody podziemnej (LI, LIV, LV), tak jak w przypadku próbek osadu pokoagulacyjnego z spowodowała, chociaż mniejsze (4,2÷5,9 %), zmniejszenie stopnia ich zagęszczenia i zmniejszenia objętości oraz zwiększyła poziom zanieczyszczenia wód nadosadowych. Ten niekorzystny wpływ alkaliczacji zwiększał się wraz ze wzrostem pH i skuteczności zagęszczenia (η_z i η_v) próbek osadu niekondycjonowanego, a także ze stężeniem jonów OH⁻ w osadach kondycjonowanych wapnem (tab. 4) i był największy w przypadku próbki LIV (rys. 3).

Tabela 4. Wpływ alkalizacji na badane parametry procesu oraz osadów i jakość wydzielonych wód nadosadowych

próbka os.		LI					LIV				LV				
pH ₀		7,00	7,60	8,02	8,51	9,00	8,12	8,50	9,00	9,50	7,55	8,00	8,50	9,00	9,50
osad															
V _k	cm ³	180	185	185	190	190	100	110	115	120	110	115	120	120	125
W _k	%	96,95	96,99	97,01	97,07	97,08	95,93	96,06	96,17	96,31	96,02	96,1	96,17	96,19	96,32
CSK _k	s	81,7	79,6	77,3	72,8	72,2	48,8	39,6	37,3	32,8	44,9	43,7	42,2	41,6	39,5
η _z		5	4,93	4,9	4,8	4,79	8,14	7,88	7,66	7,38	7,37	7,22	7,09	7,06	6,81
η _v	%	82	81,5	81,5	81	81	90	89	88,5	88	89	88,5	88	88	87,5
t _z	min	16	16	14	14	14	26	26	26	26	24	24	24	24	24
t _k	min	464	444	436	396	386	424	424	424	414	436	366	336	346	356
t _z	min	480	460	450	410	400	450	450	450	440	460	390	360	370	380
v _s	cm/min	0,988	0,969	0,993	0,957	0,921	0,742	0,738	0,738	0,738	0,7	0,696	0,696	0,688	0,679
woda nadosadowa															
pH _k		7	7,69	7,97	8,32	8,6	8,12	8,41	8,87	9,22	7,55	7,89	8,37	8,82	9,14
zas _M	val/m ³	3,27	3,14	2,92	2,61	2,31	5,45	4,75	3,3	2,45	3,56	3,32	3,03	2,66	2,14
M	NTU	5,97	6,96	7,5	7,7	8,36	4,6	7,44	8,91	10,4	4,73	6,75	7,93	8,79	15,54
B	gPt/m ³	15,73	20,7	23,7	26,33	28,99	13,25	15,73	18,69	22,32	9,62	18,48	24,69	28,26	30,36
Utl	gO ₂ /m ³	10,3	11,22	12,3	12,78	13,46	1,86	8,64	9,31	11,04	1,74	10,13	13,05	15,57	17,22
Mn	gMn/m ³	0,097	0,125	0,149	0,193	0,556	0,058	0,093	0,114	0,126	0,068	0,114	0,14	0,212	0,589
Fe _{og}	gFe/m ³	0,19	0,187	0,185	0,198	0,207	2,84	2,92	3,15	3,21	1,25	1,231	1,22	1,186	1,174
tw _{og}	tw	17,5	17,1	16,4	15,2	13,5	21,6	19,5	17,1	13,8	19,1	16,8	15,3	13,5	12,5
Ca	gCa/m ²	95,7	97,1	94,3	88,6	80,0	99,3	90,7	82,6	70,7	95,0	86,4	80,7	74,3	68,6
	tw	13,4	13,6	13,2	12,4	11,2	13,9	12,7	11,5	9,9	13,3	12,1	11,3	10,4	9,6
Mg	gMg/m ²	17,5	15,0	13,7	12,0	9,8	33,0	29,1	24,0	16,7	24,8	20,1	17,1	13,3	12,4
	tw	4,1	3,5	3,2	2,8	2,3	7,7	6,8	5,6	3,9	5,8	4,7	4,0	3,1	2,9
Zaw _{og}	g/m ³	8	8	8	8	10	6	8	10	12	6	8	8	10	16

Wpływ kondycjonowania wapnem na dynamikę rozdziału faz badanych próbek był różny. Alkalizacja nie zmieniła czasu sedymentacji zawieszin obecnych w próbkach LIV i LV i tylko nieznacznie (o 2 minuty) skróciła go w przypadku próbki LI. Porównanie skrócenia wymaganego czasu zagęszczania próbek o pH₀ = 9,0 (rys. 3) również świadczy o niejednoznacznym wpływie kondycjonowania próbek osadu na wartość tego parametru. Z uwagi na brak pełnej analizy składu fizyczno-chemicznego zagęszczanych próbek wyjaśnienie różnego wpływu alkalizacji na przebieg i skuteczność badanego procesu jest trudne. Przyczyną największego zmniejszenia stopnia zagęszczenia osadu LIV mogła być najmniejsza zawartość manganu, a tym samym drobno-kryształicznego o dużej gęstości MnO₂ [6]. Ponadto, ta próbka osadu zawierała około dwukrotnie więcej magnezu niż pozostałe (tab. 1), a twardość magnezowa w zakresie pH do 10,5 utrudnia wytrącanie CaCO₃ charakteryzującego się dużą podatnością na zagęszczanie grawitacyjne.



Rys. 3. Porównanie zmniejszenia stopnia zagęszczenia i skrócenia wymaganego czasu zagęszczania próbek osadu; dla $\text{pH}_0 = 9,0$

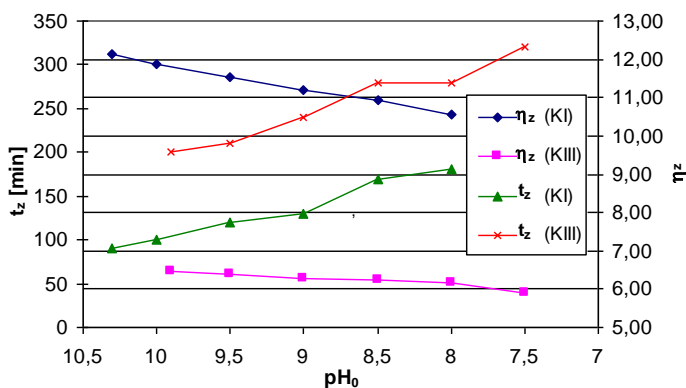
Jakość wód nadosadowych wydzielonych ze wszystkich kondycjonowanych próbek, ze względu na mętność, barwę, utlenialność i stężenie manganu i w mniejszym stopniu również zawiesin ogólnych, była gorsza niż wód wydzielonych z osadów surowych (tab. 1 i 4). Najmniejszy wzrost stwierdzono w przypadku żelaza ogólnego, którego stężenie w wodzie wydzielonej z próbki LV było nawet nieznacznie mniejsze niż z osadu surowego. Efektem zastosowania do kondycjonowania próbek osadu wapna było zmniejszenie zas. M wód nadosadowych oraz zawartości w nich wapnia, a także magnezu, który do wartości $\text{pH}_0 = 9,5$ współtrącał się z węglanem wapnia [4]. Wadą kondycjonowania osadów alkalicznie jest również niebezpieczeństwo wzrostu pH wody nadosadowej do wartości większej niż dopuszczalna w ściekach odprowadzanych do wód lub do ziemi.

Zakwaszenie próbek osadu (KI i KIII) przed ich zagęszczaniem było niekorzystne. Wraz ze wzrostem stężenia jonów H^+ zmniejszały się wartości stopnia zagęszczenia i zmniejszenia objętości osadów, wydłużał się wymagany czas ich zagęszczania (tab. 5, rys. 4).

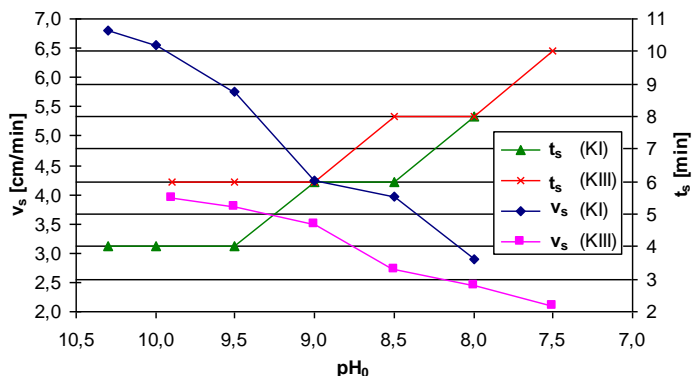
Zakwaszenie spowodowało wzrost rozpuszczalności nieorganicznych komponentów zawiesin (głównie CaCO_3 i $\text{Fe}(\text{OH})_3$) i ich deaglomerację, czego odzwierciedleniem było zmniejszenie prędkości opadania zawiesin oraz wydłużenie czasu ich sedimentacji (rys. 5), a także wzrost poziomu zanieczyszczenia wód nadosadowych (tab. 5).

Tabela 5. Wpływ zakwaszenia próbek osadów na badane parametry procesu oraz osadów i jakość wydzielonych wód nadosadowych

próbka os.		KI						KIII					
pH ₀		10,3	10	9,5	9	8,5	8	9,9	9,5	9	8,5	8	7,5
osad													
V _k	cm ³	35	40	45	50	55	60	100	100	105	105	105	110
W _k	%	94,29	94,42	94,58	94,73	94,86	95,04	95,93	95,97	96,04	96,07	96,11	96,28
CSK _k	s	144,3	142,8	141,1	139,7	136,6	133,2	108,3	106,8	103,4	102,8	102,1	99,4
η _z		12,15	11,87	11,53	11,21	10,94	10,55	6,46	6,4	6,29	6,24	6,17	5,9
η _v	%	96,5	96	95,5	95	94,5	94	90	90	89,5	89,5	89,5	89
t _s	min	4	4	4	6	6	8	6	6	6	8	8	10
t _k	min	86	96	116	124	164	172	194	204	234	272	272	310
t _z	min	90	100	120	130	170	180	200	210	240	280	280	320
v _s	cm/min	6,8	6,55	5,75	4,23	3,97	2,90	3,95	3,78	3,50	2,73	2,45	2,10
woda nadosadowa													
pH _k		10,3	10,1	9,7	9,3	8,7	8,3	9,9	9,6	9,2	8,7	8,3	7,8
zas F	val/m ³	0,25	0,22	0,19	0,14	0,11	0,04	0,27	0,25	0,19	0,13	0,03	0
zasM	val/m ³	0,65	0,7	0,77	0,82	0,9	1,1	0,5	0,54	0,61	0,69	0,8	0,87
M	NTU	26,3	27,4	29,1	31,7	32,8	33,7	3,06	3,94	4,81	6,22	7,69	9,82
B	gPt/m ³	32,7	33,8	34,1	34,9	35,5	35,9	5	5,08	5,24	5,47	5,73	6,21
Fe _{og}	gFe/m ³	1,87	1,92	2,04	2,19	2,53	3,11	0,02	0,07	0,19	0,32	0,83	1,61
Utl	gO ₂ /m ³	13,68	14,03	14,62	14,87	15,11	15,45	3,26	3,42	3,6	3,77	3,95	4,1
tw _{og}	°tw	9,2	9,3	9,6	10	10,3	10,6	7,6	7,9	8,3	8,6	9,1	9,7
Ca	gCa/m ³	42,1	42,8	44,3	46,4	47,8	49,2	46,4	47,8	50,0	51,4	53,6	56,4
	°tw	5,9	6,0	6,2	6,5	6,7	6,9	6,5	6,7	7,0	7,2	7,5	7,9
Mg	gMg/m ³	14,1	14,1	14,5	15,0	15,4	15,8	4,7	5,1	5,6	6,0	6,8	7,7
	°tw	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
Zaw _{og}	g/m ³	22	24	26	30	32	34	6	6	8	10	12	16



Rys. 4. Wpływ zakwaszenia osadu na stopień zagęszczenia i wymagany czas zagęszczania osadów



Rys. 5. Wpływ zakwaszenia próbek osadu na prędkość sedymentacji zawieszin i czas ich opadania

Negatywny wpływ wzrostu stężenia jonów wodorowych (zgodnie z oczekiwaniami), był większy w przypadku próbki osadu KI (tab. 6), która przed zakwaszeniem była bardziej podatna na zagęszczanie grawitacyjne.

Tabela 6. Porównanie zmniejszenia wartości η_z , η_v oraz odwodnienia próbek KI i KIII (%) w wyniku zakwaszenia do $pH_0 = 8,0$

Próbka osadu	Zmniejszenie, %		
	η_z	η_v	$W_0 - W_k$
KI	13,17	2,59	14,31
KIII	4,49	0,55	5,23

Wartości badanych wskaźników jakości wody nadosadowej (poza zas. F) zwiększały się wraz ze stopniem zakwaszenia próbek osadu (tab. 5). Zaletą obniżenia pH próbek osadu przed ich zagęszczaniem do $pH_0 = 8,5$ było zmniejszenie wartości pH wody nadosadowej do maksymalnej dopuszczalnej w ściekach odprowadzanych do wód lub do ziemi.

3. PODSUMOWANIE

Chemiczne kondycjonowanie próbek osadów powstających w różnych układach oczyszczania wody zmieniło przebieg i efekty ich porcjowego zagęszczania grawitacyjnego, jakość wydzielonych z nich wód nadosadowych oraz podatność osadów po zagęszczaniu na ich dalsze odwadnianie.

Analiza wyników badań wykazała, że bez względu na rodzaj osadu zmiany wartości pH (zakwaszenie/alkalizacja) próbek tych osadów zmniejszyły stopień ich zagęsz-

czenia oraz zmniejszenia objętości. Ten niekorzystny wpływ korekty pH osadów był większy w przypadku tych próbek, które (przed kondycjonowaniem) charakteryzowały się większą podatnością na uwalnianie wody wolnej (z wyjątkiem alkalizacji osadów pokoagulacyjnych MD). Wpływ zwiększenia lub zmniejszenia wartości pH w zagęszczanych mediach na dynamikę rozdziału faz był różny, a współdecydował o tym ich skład fizyczno-chemiczny. Omawiany sposób kondycjonowania chemicznego w większości próbek wód nadosadowych spowodował wzrost wartości badanych wskaźników zanieczyszczenia, a jedynie alkalizacja wapnem zapewniła zmniejszenie stężeń wapnia i magnezu.

LITERATURA

- [1] BARTOSZEWSKI K., KEMPA E., SZPADT R., *Systemy oczyszczania ścieków. Podstawy technologiczne i projektowe*, Wyd. PWR., Wrocław 1981.
- [2] BARTOSZEWSKI K., *Zagospodarowanie ścieków i odpadów z odnowy wód, Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów, Wyd. II*, red. A. L. Kowal, Ofic. Wyd. PWR., Wrocław 1996.
- [3] BIEŃ J., STĘPNIAK L., WOLNY L., *Ultradźwięki w dezynfekcji wody i preparowaniu osadów ściekowych przed ich odwadnianiem*, Monografie nr 37, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995.
- [4] KOWAL A. L., ŚWIDERSKA-BRÓŻ M., *Oczyszczanie wody*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- [5] KROCZAK T., *Gospodarka ściekowo-osadowa w zakładach oczyszczania wody podziemnej w Polsce, materiały konferencyjne I Konferencji Naukowej Doktorantów Zagadnienia Interdyscyplinarne w Inżynierii Ochrony Środowiska*, Oficyna Wydawnicza PWR., Wrocław 2005, s. 163.
- [6] MINCZEWSKI J., MARCZENKO Z., *Chemia analityczna I. Podstawy teoretyczne i analiza jakościowa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2010 nr 72 poz. 466).
- [8] THOMPSON P. L., PAULSEN W. L., *Dewaterability of alum and ferric coagulation sludges*, JAWWA, 1998/4, s. 164.

EFFECT OF pH VALUE CORRECTION ON THE DEWATERING EFFICACY OF SLUDGE FROM VARIOUS WATER TREATMENT PLANTS

The implementation of a new, restricting rules on the quality of water distributed to consumers forced to increase the removal efficiency of impurities from water, and consequently resulted in the generation of large amounts of sediment per unit volume of purified water. Increasing the removal efficiency of extremely fine particles, micro-organisms and organic compounds caused a decrease in susceptibility to compaction of sediments and drainage water. Their processing is therefore one of the major problems with the waterworks. The dewatering efficiency influences (inter alia) the costs of transport to the place of sludge and sediment management or disposal.