

Tomasz Jagoszewski, Maria Świdorska-Bróz

Wpływ polielektrolitów na zagęszczanie grawitacyjne osadów pokoagulacyjnych

Zagęszczanie grawitacyjne jest procesem powszechnie stosowanym w gospodarce osadami pokoagulacyjnymi powstającymi w zakładach uzdatniania wody. Ponieważ osady pokoagulacyjne, szczególnie powstające podczas koagulacji solami glinu, należą do trudno zagęszczających się, do uzyskania dużej skuteczności ich grawitacyjnego zagęszczania wymagany jest długi czas, a w konsekwencji duża objętość zagęszczaczy. Spełnienie powyższych wymogów w praktyce często jest kłopotliwe – głównie przy dużej objętości osadów – i nie zawsze zapewnia uzyskanie wymaganego stopnia zmniejszenia objętości i uwodnienia osadów oraz wystarczającej czystości wydzielonych wód osadowych. Stąd wynika konieczność intensyfikacji grawitacyjnego zagęszczania osadów pokoagulacyjnych, zmierzającej do skrócenia wymaganego czasu zagęszczania, przy równoczesnym zapewnieniu dobrych efektów procesu. Jednym ze sposobów intensyfikacji zagęszczania osadów pokoagulacyjnych jest ich chemiczne kondycjonowanie.

W niniejszym artykule przedstawiono wpływ polielektrolitów na kondycjonowanie osadów pokoagulacyjnych powstających podczas oczyszczania wód infiltracyjnych na przebieg i efekty ich grawitacyjnego zagęszczania.

Metodyka i zakres badań

Przedmiotem badań były osady powstające podczas koagulacji domieszek wód infiltracyjnych siarczanem glinu, wydzielone w osadnikach. Wybrane wskaźniki składu fizyczno-chemicznego tych osadów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka składu fizyczno-chemicznego zagęszczanych osadów pokoagulacyjnych

Parametr, jednostka	Numer próbki osadu		
	I	II	III
Uwodnienie, %	99,40	99,04	97,40
Sucha pozostałość, g/m ³	5994	9615	26000
Strata prażenia, g/m ³	816	1048	1763
Zawiesiny, g/m ³	5512	9117	25454
Glin, mgAl/g smo	19,0	34,5	12,1
Żelazo, mgFe/g smo	240	73,2	33,5
Siarczany, mgSO ₄ ²⁻ /g smo	25,5	13,9	10,4
Wapń, mgCa/g smo	85,1	208	346,1
ChZT, gO ₂ /m ³	698	681	924
pH, –	6,90	7,42	7,70

W badaniach określono podatność do zagęszczania grawitacyjnego osadów surowych oraz kondycjonowanych polielektrolitami kationowymi i anionowymi firmy *Allied Colloids*, dawkowanych w postaci wodnych roztworów w ilości $D_p=0,05+0,5\%$ smo.

Przebieg i skuteczność grawitacyjnego zagęszczania określono w warunkach nieprzepływowych, realizując proces w cylindrach o pojemności 1 dm³ i wysokości około 37,0 cm. W czasie zagęszczania (t_{zag}) rejestrowano zmianę wysokości płaszczyzny rozdziału osad–woda nadosadowa, a z krzywych zagęszczania wyznaczono następujące parametry charakteryzujące przebieg procesu:

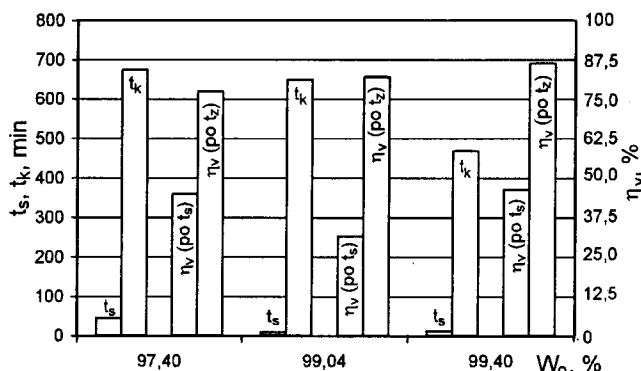
- czas fazy sedymentacji cząstek osadu (t_s),
- czas komprymacji osadu (t_k),
- wymagany czas zagęszczania osadu (t_z).

Po określonym czasie zagęszczania, zgodnie z PN, oznaczono wybrane wskaźniki jakości wody nadosadowej oraz objętość (V_k) i uwodnienie (W_k) osadu zagęszczonego. Jako miarę skuteczności zagęszczenia osadów przyjęto stopień zagęszczenia osadu (η_z), będący ilorazem suchej masy osadu zagęszczonego do niezagęszczonego.

Wyniki badań

Zagęszczanie osadów niekondycjonowanych

Stopień zagęszczenia osadów zależał od ich początkowego uwodnienia oraz czasu zagęszczania, którego wydłużenie zmniejszało objętość osadów oraz zwiększało stopień ich zagęszczenia. Czasy faz sedymentacji cząstek osadów oraz komprymacji osadów wydłużały się wraz ze wzrostem zawartości substancji stałych w zagęszczanych osadach. Bez względu na rodzaj osadu, istotne znaczenie w zmniejszaniu ich objętości miała faza sedymentacji (rys.1).



Rys. 1. Czasy faz sedymentacji cząstek osadu i komprymacji osadu oraz udział fazy sedymentacji zawiesin w zmniejszeniu objętości osadów

Uwzględniając czas zagęszczania i odpowiadające mu zmniejszenie objętości osadów (η_v) oraz stopień ich zagęszczenia (tab.2), najłatwiej odwadniał się osad o największym uwodnieniu początkowym, a równocześnie największym ilorazie zawartości związków żelaza do glinu. Najmniej podatny do zagęszczania grawitacyjnego był osad o uwodnieniu $W_0=97,40\%$, którego cząstki opadały z prędkością około 3,5-krotnie mniejszą niż osadów o uwodnieniu $W_0>99,0\%$.

Tabela 2. Skuteczność zagęszczania osadów

Parametr jednostka	Uwodnienie początkowe osadu (W_0), %		
	97,40	99,04	99,40
t_z , h	12,0	11,0	8,0
W_k , %	91,08	96,21	96,07
η_v , %	77,40	82,10	86,50
η_z , %	3,43	3,95	6,55

Wpływ początkowego uwodnienia osadu na jakość wody nadosadowej był odmienny, tzn. woda wydzielona po 3 godz. zagęszczania z osadu o uwodnieniu $W_0=99,40\%$ charakteryzowała się większym poziomem zanieczyszczenia, niż woda wydzielona z osadu o najmniejszym uwodnieniu początkowym (97,40%) i po krótszym czasie zagęszczania równym 2 godz. (tab.3). Spowodowane to było prawdopodobnie największym udziałem substancji organicznych oraz związków żelaza w suchej masie osadu o $W_0=99,40\%$ (tab.1).

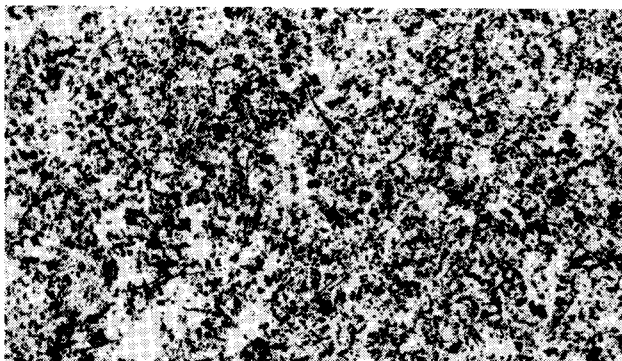
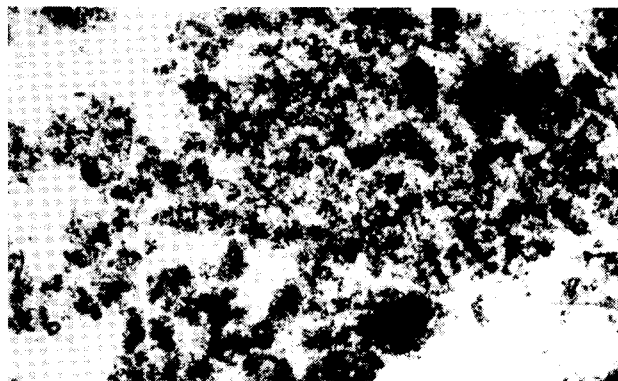
Tabela 3. Wybrane parametry wód nadosadowych

Parametr jednostka	Uwodnienie początkowe osadu (W_0), %		
	97,40	99,04	99,40
t_{zag} , h	2,0	3,0	3,0
Mętność, g/m ³	17,1	13,0	65,5
Utlenialność, gO ₂ /m ³	4,6	7,6	6,5
Żelazo, gFe/m ³	0,9	1,12	6,8
Glin, gAl/m ³	0,11	0,39	0,55

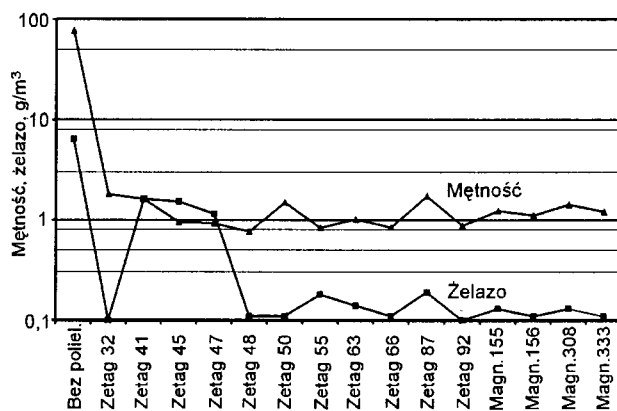
Wydłużenie czasu zagęszczania osadu zapewniło dalsze zmniejszenie wartości badanych wskaźników jakości wody nadosadowej.

Zagęszczanie osadów kondycjonowanych

Wpływ polielektrolitów na przebieg i efektywność zagęszczania osadów był różny i zależał przede wszystkim od uwodnienia początkowego osadów, a także od rodzaju i dawki reagentu kondycjonującego. Wszystkie badane polielektrolity powodowały aglomerację cząstek osadów, a świadczy o tym porównanie obrazów mikroskopowych osadów zagęszczonych, niekondycjonowanego (rys.2) i kondycjonowanego (rys.3).

Rys. 2. Obraz mikroskopowy cząstek stałych osadu zagęszczonego, niekondycjonowanego ($\times 140$)Rys. 3. Obraz mikroskopowy cząstek stałych osadu zagęszczonego, kondycjonowanego polielektrolitem Zetag 45 ($\times 140$)

Kondycjonowanie osadu o uwodnieniu $W_0=99,40\%$ (najlepiej zagęszczającego się), zarówno polielektrolitami kationowymi, jak i anionowymi, dawkowanymi w ilości 0,1% smo, zmniejszyło stopień jego zagęszczenia, natomiast zapewniło obniżenie mętności i stężenia żelaza w wydzielonych wodach nadosadowych (rys.4).



Rys. 4. Wpływ rodzaju polielektrolitu na mętność i stężenie żelaza w wodzie nadosadowej

Potwierdziły to również wyniki badań zagęszczania tego osadu polielektrolitem kationowym Zetag 45, który w całym zakresie dawek (0,05÷0,5% smo) zmniejszył podatność osadu do zagęszczania. Poprawę skuteczności tego reagentu zapewniło zastosowanie wolnego mieszania wydłużającego czas kontaktu osadu z polielektrolitem. Jednak uzyskany stopień zagęszczenia osadu dla najdłuższego czasu t_{wm} (20 min) był w dalszym ciągu mniejszy niż dla osadu bez kondycjonowania.

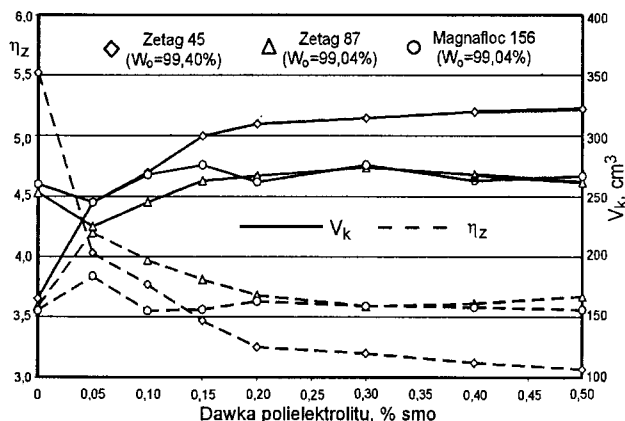
Odwrotny skutek kondycjonowania stwierdzono dla osadów o mniejszych uwodnieniach początkowych (99,04% i 97,40%). Zastosowanie polielektrolitów anionowego Magnafloc 156, a szczególnie kationowego Zetag 87, zwiększyło stopień zagęszczenia osadu o uwodnieniu $W_0=99,04\%$, a wpływ ten zależał od dawki reagentów. Z uwagi na wartości η_z i η_v dawki optymalne wynosiły 0,05% smo. Wzrost dawek polielektrolitów wiążących wodę niestety zwiększał objętość osadów zagęszczonych (rys.5).

Polielektrolity dodane w ilości 0,05% smo do osadu najtrudniej zagęszczającego się ($W_0=97,40\%$) zwiększyły również stopień jego zagęszczenia. Najbardziej przydatny był polielektrolit kationowy Zetag 87 o masie cząsteczkowej 7 mln, a więc mniejszej od masy cząsteczkowej pozostałych testowanych flokulantów. Kondycjonowanie tym polielektrolitem zwiększyło stopień zagęszczenia osadu (po $t_{zag}=2$ h) z 2,78 do 3,29 oraz zmniejszenia

Tabela 4. Porównanie stopnia zmniejszenia uwodnienia i objętości osadów pokoagulacyjnych z Zakładu Produkcji Wody „Na Grobli” we Wrocławiu oraz stopnia ich zagęszczenia

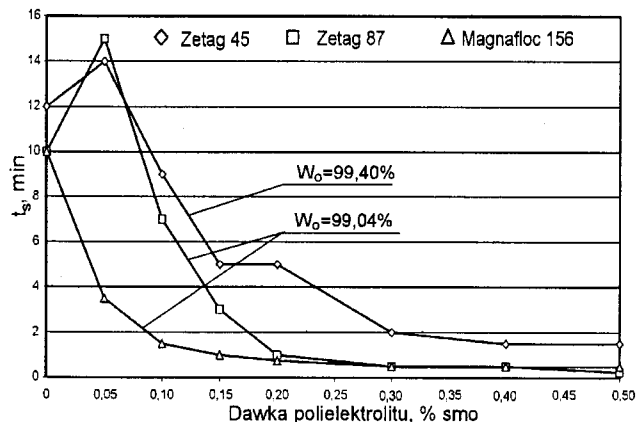
W_o , %	Rodzaj osadu	t_{zag} , h	W_k , %	$W_o - W_k$, %	η_z	V_o/V_k^*
99,40	1	2,0	97,13	2,27	4,78	5,0
	2	2,0	98,33+98,82	0,58+1,07	1,97+2,78	–
	1	3,0	96,69	2,71	5,52	6,06
	2	3,0	97,58+98,16	1,24+1,82	3,07+4,03	3,10+4,08
99,04	1	3,0	96,55+96,59	2,45+2,49	3,55+3,59	3,85+3,95
	2	3,0	95,97+96,59	2,45+3,07	3,55+4,20	3,62+4,44
	1	2,0	92,78	4,62	2,78	2,69
	2	2,0	91,44+92,43	4,97+5,96	2,91+3,29	3,06+3,42

* krotność zmniejszenia objętości osadu (1 – osad surowy, 2 – osad kondycjonowany polielektrolitami)



Rys. 5. Porównanie wpływu dawki polielektrolitów na objętość wydzielonych osadów oraz stopień ich zagęszczenia

objętości osadu z 62,8% do 70,8%. Uwodnienia końcowe osadów, bez względu na parametry kondycjonowania i zagęszczania, były niestety duże, a najlepsze efekty zmniejszenia uwodnienia ($W_o - W_k$) uzyskano dla osadu o najmniejszym uwodnieniu początkowym (tab.4).

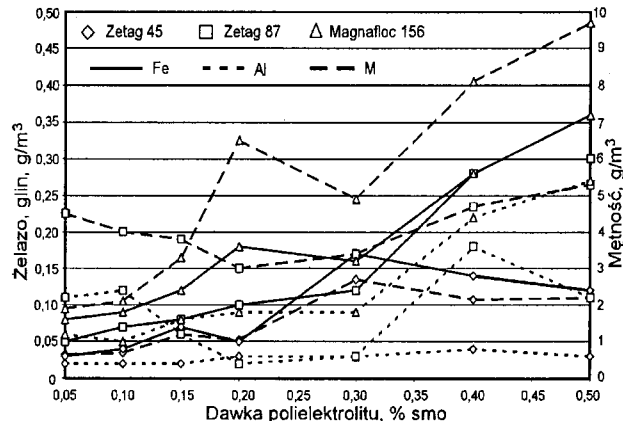


Rys. 6. Wpływ dawki polielektrolitów na czas sedimentacji cząstek osadów

Kondycjonowanie polielektrolitami powodującymi aglomerację cząstek stałych (szczególnie $D_p > 0,05\%$ smo), bez względu na początkowe uwodnienie osadu, wyraźnie skróciło fazę sedimentacji cząstek osadu (rys.6) oraz wielokrotnie zwiększyło prędkość ich opadania.

Wpływ reagentów kondycjonujących na zdolność osadów do zagęszczania w fazie komprymacji był odwrotny, jednak dla większości próbek kondycjonowanie skracało czas trwania fazy komprymacji, a więc ostatecznie przyspieszało zagęszczanie.

Kondycjonowanie zdecydowanie zmniejszyło mętność oraz stężenie żelaza i glinu w wodach wydzielonych z osadów. Wartości tych wskaźników niestety zwiększały się wraz z dawką

Rys. 7. Wpływ dawki polielektrolitów na wybrane wskaźniki jakości wody nadosadowej wydzielonej z osadów kondycjonowanych polielektrolitami (Zetag 45 – $W_o=99,40\%$, Zetag 87 i Magnafloc 156 – $W_o=99,04\%$)

polielektrolitów, a tym samym skróceniem czasu sedimentacji cząstek osadów (rys.7), jednakże były znacznie mniejsze niż w wodach wydzielonych z osadów niekondycjonowanych. Stąd optymalna dawka polielektrolitów – zapewniająca równocześnie najkorzystniejsze warunki zagęszczania osadów oraz najmniejszy poziom zanieczyszczenia wydzielonych z nich wód – wynosiła 0,05% smo.

Zarówno polielektrolity kationowe, jak i anionowe zwiększyły poziom zanieczyszczenia organicznego wód nadosadowych, w stopniu wprost proporcjonalnym do stosowanych dawek. Oznacza to, że pewne ilości tych reagentów pozostawały w wodzie nadosadowej, zwiększając wartość utlenialności.

W wyniku dawkowania polielektrolitów anionowych do osadu o uwodnieniu $W_o=97,40\%$ zaznaczył się także (choć bardzo mały) wzrost intensywności barwy, czego nie stwierdzono w próbkach wody wydzielonej z osadów o uwodnieniu $W_o > 99,0\%$, nawet dla ponadtrzykrotnie większych ilości polielektrolitu Magnafloc 156.

Kondycjonowanie osadu najgorzej zagęszczającego się ($W_o=97,40\%$) polielektrolitami ($D_p=0,05\%$ smo) zmniejszyło mętność oraz stężenie żelaza i glinu w wydzielonych wodach osadowych do takich wartości, jakie stwierdzono po 6 dobach (czasie 72-krotnie dłuższym) zagęszczania osadu niekondycjonowanego. Spośród badanych reagentów kondycjonujących najbardziej przydatny był Zetag 87.

Porównanie efektów zagęszczania osadów surowych i kondycjonowanych o różnym uwodnieniu (tab.4) wskazuje, iż kondycjonowanie polielektrolitami poprawiło skuteczność zagęszczania przede wszystkim osadu najtrudniej zagęszczającego się, a było zupełnie nieprzydatne w zmniejszaniu uwodnienia i objętości osadu o uwodnieniu $W_o=99,40\%$ – najłatwiej zagęszczającego się.

Wnioski

♦ Podatność niekondycjonowanych osadów pokoagulacyjnych do zagęszczania grawitacyjnego zwiększała się wraz ze wzrostem ich uwodnienia oraz udziałem związków żelaza w suchej masie osadów.

♦ Kondycjonowanie polielektrolitami powodującymi aglomerację cząstek osadów skróciło wymagany czas zagęszczania grawitacyjnego oraz zmniejszyło mętność, stężenie żelaza i glinu w wydzielonych wodach nadosadowych.

♦ Optymalne dawki reagentów kondycjonujących (0,05% smo) zwiększyły stopień zagęszczenia osadów mniej podatnych do zagęszczania grawitacyjnego, tj. o uwodnieniach $W_o=97,40\%$ i $W_o=99,04\%$.

♦ Badane polielektrolity, w stopniu wprost proporcjonalnym do ich dawki, zwiększały utlenialność wód nadosadowych.

♦ Najbardziej przydatnym reagentem do kondycjonowania osadów pokoagulacyjnych był polielektrolit kationowy Zetag 87.

Effect of Polyelectrolytes on the Gravity Thickening of Coagulation Sludges

The experiments involved two types of coagulation sludge – non-conditioned and conditioned with cation and anion polyelectrolytes made by CIBA. The proneness of non-conditioned sludge to gravity thickening was found to increase with the initial water content and with the proportion of iron compounds in the dry matter. Polyelectrolyte-aided conditioning produced agglomeration of solid particles, thus shortening the duration of the thickening process. Another major advantage was the reduction of turbidity, as well as the decrease of iron and aluminium

concentrations, in the supernatant (though, there was a rise in COD). The positive effect of the conditioning process on the decrease of water content and sludge volume was found to be inversely proportional to the initial water content. That is why the presence of polyelectrolytes upgraded the thickening effect in sludges which were less prone to gravity thickening. Of the investigated conditioning agents, Zetag 87 (a cation polyelectrolyte) was the most effective.