

Krzysztof Wilmański

Zastosowanie separatora Lamella-Johnson do klarowania silnie zanieczyszczonych wód popłucznych

W związku z potrzebą spełnienia wymogów ustawodawstwa dotyczącego ochrony środowiska oraz wytycznych Unii Europejskiej wiele zakładów wodociagowych stoi przed koniecznością budowy nowego lub modernizacji istniejącego systemu zagospodarowania wód popłucznych i osadów powstających w procesie uzdatniania wody. Ponieważ budowa tradycyjnych zbiorników, lagun lub poletek osadowych o dużych kubaturach wymaga zaangażowania znacznych środków finansowych i często wiąże się z koniecznością zakupu nowych terenów, dlatego poszukuje się metod i urządzeń do klarowania popłuczyn o wysokiej sprawności, zajmujących niewielką powierzchnię.

Jednym ze znanych od wielu lat urządzeń stosowanych do separacji zawiesin jest osadnik wielostrumieniowy. Skuteczność klarowania wody w osadnikach tego typu jest wysoka, nawet przy dużych prędkościach przepływu wody (2+3 mm/s) [1]. Należą do nich separatory typu Lamella-Johnson, które są wyposażone w komorę wielostrumieniową z równolegle umieszczonymi płytami pod kątem 60 stopni do poziomu oraz komorę zagęszczania osadu wraz ze zgarniaczem. Zespólna konstrukcja separatora umożliwia uzyskanie w jednym urządzeniu dobrych efektów klarowania wody i zagęszczania osadu [2].

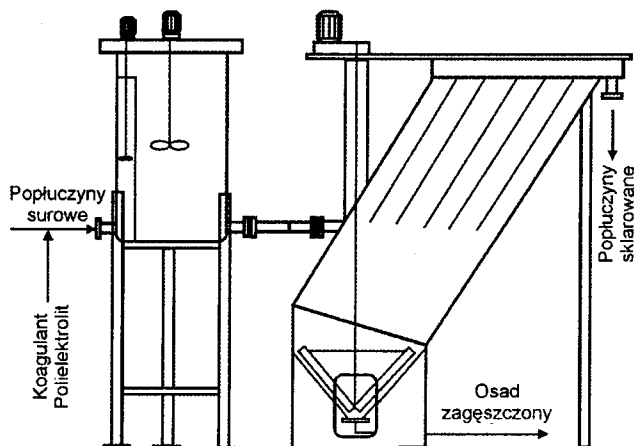
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań procesu klarowania w osadniku Lamella-Johnson wód popłucznych powstających podczas uzdatniania wody powierzchniowej. Badania wykonano na wodociągu „Kozłowa Góra”, który uruchomiono w bieżącym roku po gruntownej modernizacji. Woda surowa, ujmowana ze zbiornika Świerklaniec, uzdatniana jest poprzez dwustopniowe ozonowanie (wstępne i pośrednie), koagulację siarczanem glinu, filtrację na filtrach antracytowo-piaskowych, sorpcję na filtrach węglowych oraz dezynfekcję chlorem. W układzie procesów uzdatniania wody pominięto sedymentację zawiesin pokoagulacyjnych przed wprowadzeniem wody na filtry pospieszne, w efekcie czego filtry te są silnie obciążone zawiesinami. Wody popłuczne z filtrów antracytowo-piaskowych zawierają ponad 99% wszystkich zawiesin, jakie zatrzymywane są w całym procesie uzdatniania wody. Biorąc pod uwagę fakt, iż objętość popłuczyn stanowi 15+30% ilości produkowanej wody do picia, ładunek zanieczyszczeń stałych w popłuczynach jest bardzo duży.

Dodatkowym utrudnieniem w modernizacji była ograniczona powierzchnia terenu, jaką dysponował wodociąg pod budowę obiektów służących gospodarce osadowej. Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, konieczne było

zastosowanie urządzenia o dużej wydajności i wysokiej skuteczności klarowania popłuczyn i zagęszczania osadów. Uznano, iż zastosowanie osadnika Lamella-Johnson do tego celu może być dobrym rozwiązaniem dla wodociągu „Kozłowa Góra”.

Metodyka badań

Badania procesu klarowania wód popłucznych wykonano w modelowym separatorze Lamella-Johnson (rys.1). Klarowanie popłuczyn odbywało się w sposób ciągły z wydajnością 3 m³/h. Popłuczyny z technicznych filtrów antracytowo-piaskowych kierowano do zbiornika flokulacji. Do rurociągu zasilającego tę komorę wprowadzono reagenty, których zadaniem było równoczesne wspomaganie procesów klarowania popłuczyn i zagęszczania osadów. W pierwszej części komory flokulacji miało miejsce szybkie mieszanie (760 obr./min), mające na celu rozproszanie reagentu w całej objętości popłuczyn. W drugiej części komory zastosowano wolne mieszanie (34 obr./min), umożliwiające wiązanie drobnych kłaczków w duże, zwarte aglomeraty o dobrych właściwościach sedymentacyjnych. Popłuczyny przepływały następnie do komory wielostrumieniowej, w której umieszczono płyty o długości 150 cm każda, ustawione równolegle co 5 cm pod kątem 60 stopni względem poziomu. Popłuczyny przepływały wzdłuż płyt ku górze i odpyływały króćcem umieszczonym na szczycie osadnika. Zawiesiny opadały na powierzchnię płyt, zsuwały się po niej i spływały grawitacyjnie do stożkowej komory zagęszczania osadu. Proces zagęszczania osadów wspomagany był działaniem zgarniacza (1,1 obr./min). Zagęszczone osady odprowadzano okresowo króćcem umieszczonym w wierchołku stożkowej komory zagęszczania.



Rys. 1. Schemat doświadczalnego separatora Lamella-Johnson

Proces klarowania popłuczyn i zagęszczania osadów wspomagano następującymi reagentami, wytypowanymi w oparciu o wyniki testów laboratoryjnych:

- siarczan glinu,
- polielektrolit średnio kationowy Magnafloc LT22,
- polielektrolit słabo anionowy Magnafloc LT25,
- polielektrolit średnio anionowy Magnafloc LT26,
- polielektrolit słabo anionowy Synthfloc 8012 H-PWG,
- polielektrolit średnio anionowy Synthfloc 8022 H-PWG,
- polielektrolit średnio anionowy Praestol 2540.

Jakość wody surowej i popłuczyn

Jakość popłuczyn powstających w procesie uzdatniania wody była zależna od jakości wody surowej, dawki koagulantu, czasu trwania cyklu filtracyjnego i objętości wody zużytej do płukania. Parametry jakościowe wody surowej i popłuczyn powstających w czasie badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Jakość wody surowej ujmowanej przez wodociąg „Kozłowa Góra” i wód popłuczyn z filtrów antracytowo-piaskowych

Parametr, jednostka	Woda surowa			Wody popłuczne		
	min.	śr.	maks.	min.	śr.	maks.
Barwa poz., gPt/m ³	28	60	120	150	330	800
Mętność, g/m ³	6	22	70	48	143	232
pH,–	7,3	8,2	9,5	7,15	7,31	7,48
Utlenialność, gO ₂ /m ³	7,5	14,1	28,3	32	70	142
Glin, gAl/m ³	0,00	0,17	0,39	5,7	15,4	26,0
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,00	0,29	0,60	0,35	0,85	1,32
Azot amonowy, gN/m ³	0,24	0,48	1,02	–	–	–
Zawiesiny ogólne, g/m ³	2,8	32,3	159	145	420	935
Plankton, org./cm ³	330	7160	22100	–	–	–

Ujmowana woda surowa wykazywała dużą zmienność jakości. W okresie zimowym zawartość związków organicznych i planktonu w wodzie była stosunkowo mała. W tym okresie jednak występowały podwyższone stężenia związków manganu. W okresie od kwietnia do listopada w zbiorniku Świerkianiec występowały silne zakwity planktonu. Najbardziej niekorzystne – z punktu widzenia procesu uzdatniania wody – były organizmy nitkowatych sinic, które występowały w wodzie zwykle przez około 9 miesięcy w roku. Woda surowa zawierała w tym okresie również znaczne ilości

Tabela 2. Wartości parametrów technologicznych stosowanych w badaniach

Seria	Prędkość przepływu wody mm/s	Temperatura wody °C	Reagent	Dawka reagentu g/m ³
1	2,3	4	–	–
2*	1,8	3	Synthfloc 8022 H-PWG	0,19
3	2,3	4	Siarczan glinu	50
4	2,3	5	Magnafloc LT22	0,30
5	2,3	4	Synthfloc 8012 H-PWG	0,19
6	2,3	6	Synthfloc 8022 H-PWG	0,30
7	2,3	5	Praestol 2540	0,30
8	2,3	6	Magnafloc LT25	0,30
9	2,6	15	Magnafloc LT26	0,30

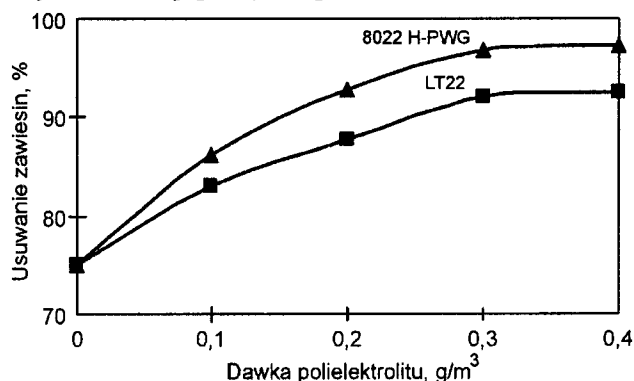
* Seria bez płyt w osadniku

związków humusowych, których usuwanie wymagało stosowania stosunkowo wysokich dawek koagulantu. Wymagane dawki siarczanu glinu wynosiły od 35 g/m³ w okresie zimowym do 60 g/m³ w okresie letnim. Obecność dużych ilości planktonu i kłaczekw pokoagulacyjnych w wodzie wpływała znacząco na pracę filtrów antracytowo-piaskowych. Czas trwania cyklu filtracyjnego w okresie zimowym wynosił ponad 24 godz., a latem uległ skróceniu do kilkunastu godzin. Plankton i zawiesiny pokoagulacyjne były więc głównymi składnikami popłuczyn i decydowały o ich zdolności do klarowania. Średnia zawartość zawiesin w popłuczynach wynosiła 420 g/m³.

Klarowanie wód popłuczyn

Wykonano dziewięć serii badań, w których zastosowano różne reagenty wspomagające proces klarowania popłuczyn (siarczan glinu i polielektrolity o charakterze kationowym i anionowym) oraz różne prędkości przepływu wody. W drugiej serii, dla porównania uzyskanych efektów, popłuczyny klarowano w osadniku bez płyt. Liniowa prędkość przepływu wody przez osadnik wynosiła 1,8+2,6 mm/s. Parametry technologiczne stosowane w poszczególnych seriach badań przedstawiono w tabeli 2.

W każdej serii badań zastosowano jeden typ reagentu, którego dawkę ustalono w testach laboratoryjnych. Optymalizacja dawki następowała w czasie badań na instalacji modelowej. Wpływ dawek polielektrolitów na skuteczność sedymentacji zawiesin w popłuczynach przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wpływ dawki polielektrolitu na efekty obniżenia stężenia zawiesin w popłuczynach

W wypadku stosowania obu reagentów, tj. kationowego polielektrolitu Magnafloc LT22 i anionowego polielektrolitu Synthfloc 8022 H-PWG, zwiększenie dawki ponad 0,3 g/m³ w bardzo niewielkim stopniu wpłynęło na poprawę uzyskanych efektów. Dawkę tę można więc uznać za właściwą. Stwierdzono, że w wypadku stosowania polielektrolitu o charakterze anionowym, skuteczność klarowania popłuczyn była wyższa niż w wypadku reagentu o charakterze kationowym.

Podstawowe parametry jakościowe popłuczyn sklarowanych w poszczególnych seriach badań przy użyciu optymalnych dawek reagentów przedstawiono w tabeli 3. Najlepsze efekty klarowania popłuczyn uzyskano przy zastosowaniu siarczanu glinu, jednakże wymagana dawka tego reagentu była stosunkowo wysoka, co dodatkowo wiązało się z wytworzeniem dużych ilości osadu. Jakość popłuczyn sklarowanych przy zastosowaniu niektórych polielektrolitów anionowych była tylko nieznacznie gorsza, niż w wypadku siarczanu glinu. Wymagane dawki tych flokulantów były bardzo małe, co ma

Tabela 3. Parametry jakości wody sklarowanej w osadniku Lamella-Jonson

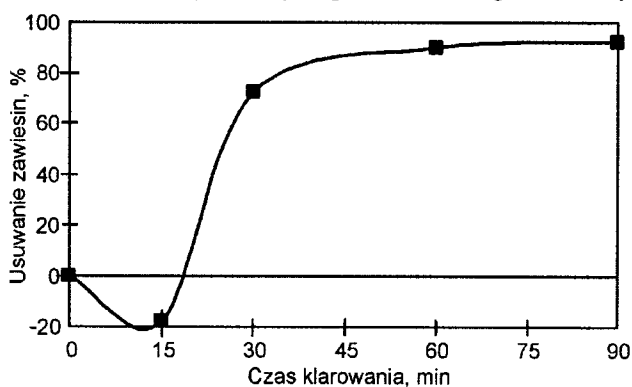
Parametr jednostka	Seria badań								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Barwa poz. gPt/m ³	38	23	8	22	20	13	13	15	13
Mętność g/m ³	18	12	3,8	9,2	13	4,4	5	7,5	5
pH, -	7,4	7,4	7,2	7,4	7,3	7,4	7,4	7,3	7,3
Utlenialność gO ₂ /m ³	11,3	8,0	5,8	7,7	8,5	5,8	7,8	6,6	6,9
Glin (sącz.) gAl/m ³	0,94	0,81	0,21	0,50	0,70	0,28	-	-	0,50
Żelazo ogólne gFe/m ³	0,29	0,17	0,07	0,12	0,21	0,04	0,11	0,10	0,06
Mangan gMn/m ³	0,28	0,35	0,16	-	0,30	0,05	0,13	0,13	-
Zawiesiny g/m ³	47,0	38,0	14,5	29,0	18,5	15,0	26,5	34,0	19,4

duże znaczenie praktyczne z punktu widzenia kosztów eksploatacyjnych procesu. W próbach bez użycia reagentów wspomagających uzyskano niezadowalające wyniki. Dawkowanie odpowiednich środków do popłuczyn było więc niezbędnym czynnikiem uzyskania dobrych efektów klarowania.

Wyniki klarowania popłuczyn w osadniku bez płyt były zdecydowanie gorsze niż w osadniku z płytami, pomimo obniżenia w tej serii badań prędkości przepływu wody o 20+30%, w porównaniu z innymi seriami. Potwierdziło to dużą skuteczność stosowania osadnika wielostrumieniowego do separacji zawiesin.

Dobre efekty klarowania popłuczyn uzyskano przy prędkości przepływu wody 2,6 mm/s, co oznaczało, że czas zatrzymania popłuczyn w osadniku wynosił zaledwie 18 min. Dla porównania na rysunku 3 przedstawiono wyniki klarowania popłuczyn w zbiorniku pracującym cyklicznie. Do zbiornika w kształcie pionowego cylindra wprowadzono 350 dm³ świeżych popłuczyn oraz polielektrolit Magnafloc LT26 w ilości 0,45 g/m³. Zawartość zbiornika wymieszano sprężonym powietrzem przez 3 min, a następnie pozostawiono do opadnięcia zawiesin. W czasie sedymentacji pobrano próbki z głębokości 10 cm poniżej zwierciadła wody.

Początkowo stężenie zawiesin w wodzie na głębokości 10 cm roso, ze względu na cząstki opadające z wyższych warstw. Później następowało szybkie klarowanie popłuczyn, jednakże zadowalający efekt uzyskano dopiero po 1 godz. procesu. Ze względu na cykliczną pracę takiego osadnika (napełnianie, sedymentacja, spust), wodociąg należałoby



Rys. 3. Usunięcie zawiesin w osadniku pracującym cyklicznie

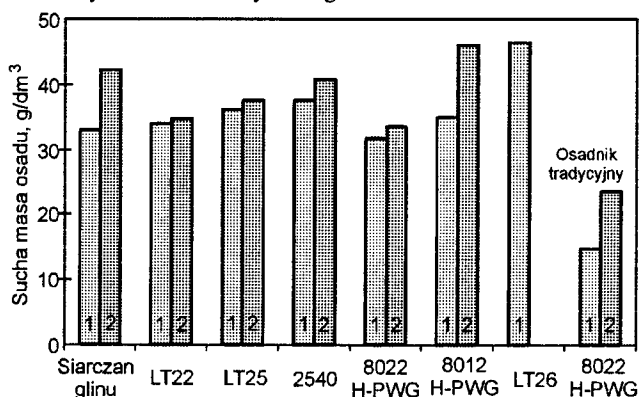
wyposażyć przynajmniej w dwa zbiorniki o pojemności zapewniającej 60 min czas klarowania. Kubatura takich osadników byłaby więc około 6-krotnie większa od kubatury separatora Lamella-Jonson.

Jakość wód popłucznych uzyskanych w procesie klarowania w osadniku Lamella-Jonson była zdecydowanie lepsza, w porównaniu z jakością wody surowej (tab.1). Wyniki te wskazują na możliwość zawracania sklarowanych popłuczyn na początek układu uzdatniania wody. Niebezpieczeństwo kumulowania się organizmów patogennych w wodzie uzdatnionej byłoby w takim wypadku niewielkie, ze względu na trzystopniowy system utleniania (dwustopniowe ozonowanie i końcowe chlorowanie) stosowany w wodociągu „Kozłowa Góra”. Rozcieńczenie wody surowej wodą sklarowaną uzyskaną z popłuczyn w ilości 20+30% może w znaczącym stopniu poprawić jakość surowca poddawanego uzdatnianiu, a więc zmniejszyć dawki reagentów (ozon, koagulant) i wpłynąć na lepsze warunki eksploatacji filtrów pospiesznych.

Zagęszczanie osadów

Bardzo ważną funkcją osadnika stosowanego do oczyszczania wód popłucznych jest zagęszczanie osadów, które powstają z opadających zawiesin. Było to szczególnie istotne w wypadku wodociągu „Kozłowa Góra”, gdzie popłuczyny niosły ze sobą znaczny ładunek zanieczyszczeń. Zawiesiny w popłuczynach zawierały bardzo duże ilości masy organicznej, w tym masy biologicznej (komórki planktonu). Zawartość części lotnych w osadach wynosiła średnio 55%. Taki charakter osadów nie sprzyjał ich zdolności do zagęszczania i dalszego odwadniania. Duże znaczenie miało więc zastosowanie właściwych reagentów. Środki dawkowane do popłuczyn powinny wspomagać nie tylko klarowanie, ale również zagęszczanie osadów. Proces zagęszczania osadów przy użyciu różnych reagentów badano w osadniku Lamella-Jonson oraz dla porównania – w zbiorniku z płaskim dnem (bez zgarniacza). Zawartość suchej masy w osadach zagęszczonych w obu osadnikach przedstawiono na rysunku 4.

Odpowiednie ukształtowanie dna osadnika oraz zastosowanie zgarniacza osadu zdecydowanie poprawiło efekt zagęszczania. W tradycyjnym osadniku bez zgarniacza uwodnienie osadu zagęszczonego było stosunkowo wysokie (>97,5%), nawet w wypadku zastosowania wysokiej dawki polielektrolitu (0,45 g/m³). Uwodnienie osadu uzyskane w separatorze Lamella-Jonson wynosiło 95,5+96,5%. Efekty zagęszczania w tym wypadku były zbliżone dla wszystkich testowanych reagentów.



Rys. 4. Zawartość suchej masy w osadach zagęszczonych w separatorze Lamella-Jonson i osadniku tradycyjnym, przy użyciu różnych reagentów (1 – po 24 godzinach, 2 – po 7 dobach)

Najlepsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu anionowych polielektrolitów typu Magnafloc LT25 i LT26 oraz Praestol 2540. Wysoka zawartość suchej masy w osadach (40 g/dm^3) w pełni kwalifikowała je do dalszego odwadniania metodami mechanicznymi [3].

Proces zagęszczania osadów w komorze Lamella-Johnson przebiegał najszybciej w ciągu pierwszych 24 godz. W większości wykonanych prób dłuższe przetrzymywanie osadów w komorze nie zmieniło znacząco ich uwodnienia. W wypadku osadnika tradycyjnego szybkość zagęszczania była znacznie mniejsza, a efekty uzyskane po 24 godzinach i po 7 dobach znacząco się różniły (rys.4).

Wnioski

◆ Popłuczyny powstające w zakładzie wodociągowym „Kozłowa Góra” podczas płukania filtrów antracytowo-piaskowych są silnie obciążone zawiesinami pochodzenia organicznego i biologicznego, co wynika z jakości wody surowej i technologii jej uzdatniania.

◆ Uzyskane wyniki badań wykazały możliwość skutecznego klarowania silnie zanieczyszczonych wód popłucznych w separatorach wielostrumieniowych typu Lamella-Johnson. Wysoka jakość sklarowanych popłuczyn umożliwia ich zwracanie do układu uzdatniania wody.

◆ Uzyskanie dobrych efektów klarowania popłuczyn w osadniku Lamella-Johnson wymaga stosowania reagentów wspomagających, tj. siarczanu glinu lub polielektrolitu anionowego.

◆ Kubatura separatora Lamella-Johnson może być 6-krotnie mniejsza, w porównaniu z tradycyjnym osadnikiem stosowanym do oczyszczania wód popłucznych.

◆ Zastosowanie stożkowej komory zagęszczania osadu wyposażonej w zgarniacz w dolnej części separatora oraz dawkowanie polielektrolitów anionowych umożliwiło uzyskanie osadów o wysokiej zawartości części stałych. Polielektrolity przydatne do klarowania popłuczyn wykazały równocześnie dobre właściwości w procesie zagęszczania osadów.

LITERATURA

1. Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne. Praca zbiorowa [red. J. NAWROCKI i S. BIEŁOZOR], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 2000.
2. Compact settling with the Lamella-Johnson separator. Materiały informacyjne firmy *Waterlink Nordic Water Products*.
3. Technologia usuwania i unieszkodliwiania osadów z uzdatniania wody. Praca zbiorowa [red. M. M. SOZAŃSKI], Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.

Application of the Lamella-Johnson Separator to the Treatment of Highly Polluted Backwashing Waters

Investigated was the clarification of backwashing water with a simultaneous thickening of the sludge which forms during water treatment in a Lamella-Johnson separator equipped with a sludge tank and a sludge scraper. The efficiency of both the clarification and thickening processes was found to be high. The quality of the effluents from the backwash of the dual bed filters (operated in the direct filtration mode at the Waterworks of Kozłowa Góra) was described. The Lamella-Johnson separator under test was a pilot-plant model with a capacity of $3 \text{ m}^3/\text{h}$. The advantages of using a multiplate settling tank were substantiated, and the optimal water flow velocity was determined. Consideration was also given to the rate of sludge thickening in

the tank equipped with a scraper. The contribution of the coagulants and polyelectrolytes to the efficiency of water clarification and sludge thickening was examined, and the optimum doses of relevant reagents were established. The results obtained with the Lamella-Johnson separator model were compared to those achieved with a classical settling tank. Thus, the quality of the clarified water was sufficiently high to make it fit for recirculation. The sludge thickened in the Lamella-Johnson separator had a high solids (40 g/dm^3 , on average) and volatile suspended solids (55%) content and could be dewatered mechanically.