

Izabela PŁONKA, Krzysztof BARBUSIŃSKI

Instytut Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska
Gliwice

BADANIA ODWADNIALNOŚCI OSADÓW Z ZAKŁADU PRODUKCJI WODY

INVESTIGATION INTO THE DEWATERING OF SLUDGE FROM WATER TREATMENT PLANT

The problem of sludge disposal produced during water treatment processes has appeared lately. So far, the sludge was regarded as mineral substance and hence it was directed to sludge bed. gravitational sludge dewatering in sludge bed requires significant area to take and that is why this method of dewatering is low effective and longlasting. on the other hand because of strict requirements of drinking water Quality the amount of sludge increases continuously. it is very important to find the effective method of dewatering which allows minimizing its amount.

The purpose of the research was estimate dewatering properties of sludge from WTP on the basis of the specific resistance to filtration (SRF) and capillary suction time (Cst test). Each time after measurement SRF been drawn graph of the function $F(V)=t/V$. These graphs were characterized by four linear Phases dependent on type of filtrated water. In analysis of the results the phase I (starting one) was omitted. Phase II was characterized by quite low the srF which ranged $4,1 \cdot 10^{+12} - 5,9 \cdot 10^{+13}$ m/kg. During that phase gravitational water was filtrated. When the srF clearly increased, phase III was started. In this phase the rest of gravitational water and partially semi-bound water in pores was removed. the values of srF in phase III were ranged from $8,8 \cdot 10^{+12}$ to $1,5 \cdot 10^{+14}$ m/kg. In phase IV further increase of the srF was observed and then capillary water was removed. In that phase the srF values ranged from $3,4 \cdot 10^{+13}$ to $1,9 \cdot 10^{+15}$ m/kg. The increase of the srF values during the change from phase III to IV is quite high and depends on sludge characteristics. After filtration the concentration of total solids (TS) in sludge was between 4,8 and 14,3%. The Rest of water was chemically Or biologically bound and it May be removed only in thermal processes. during investigations, The CST values was changed from 78 to 595 seconds and only in phase II the clear correlation between CST and SRF was observed.

1. Wprowadzenie

Do oczyszczania wód powierzchniowych najczęściej stosowane są procesy koagulacji, sedymentacji i filtracji [1]. Koagulacja polega na usuwaniu z wody cząstek koloidalnych poprzez łączenie ich w większe aglomeraty, które są usuwane w procesie sedymentacji, a następnie filtracji. Zatrzymana na filtrach zawiesina jest okresowo usuwana podczas płukania. Powstające z płukania filtrów wody popłuczne są oczyszczane zazwyczaj również w procesie koagulacji. W związku z tym w Zakładach Produkcji Wody (ZPW) powstają głównie osady pokoagulacyjne. Osady te stanowią cząstki zawiesiny kłaczkowatej, od których została oddzielona częściowo woda wolna (grawitacyjna) i zaliczane są do układów polidispersyjnych: roztwór wodny – faza stała, o złożonej strukturze przestrzennej. Pojęcie struktury osadów związane jest zarówno z przestrzennym rozmieszczeniem mikrocząstek i cząstek fazy stałej w kłaczkach osadu, jak i z siłami działającymi między cząsteczkami i mikrocząsteczkami [2]. Nieodłącznym elementem tej struktury jest woda. Wodę występującą w osadzie można podzielić na wolną (objętościową), półzwiązaną fizycznie (porową), związaną fizycznie - adhezyjną (kapilarną) oraz wodę związaną chemicznie i biologicznie. Woda wolna zajmuje przestrzeń między cząstkami osadu i nie jest z nim związana. Jest ona najprostsza do usunięcia w procesie sedymentacji i grawitacyjnego zagęszczania. Woda półzwiązana (porowa) to woda uwięziona w porach między cząstkami osadu, często określana jako woda koloidalna. Może być usunięta dopiero po zniszczeniu struktury kłaczka. Większość tej wody można usunąć na drodze mechanicznego odwadniania. Natomiast woda adhezyjna (kapilarna) jest fizycznie związana z powierzchnią osadu. Na ogół nie można jej usunąć w całości w urządzeniach do mechanicznego odwadniania. Wodę związaną chemicznie stanowi woda wbudowana w cząsteczki związków chemicznych. Jest rodzajem wody najsilniej związanej z fazą stałą osadów. Z kolei woda związana biologicznie, to płyny ustrojowe zawarte w ciałach mikroorganizmów. Zarówno woda związana chemicznie, jak i biologicznie nie jest możliwa do usunięcia w procesie mechanicznego odwadniania [3]. Rodzaje wiązań występujące pomiędzy cząsteczkami wody, a fazą stałą osadów wpływają bezpośrednio na zdolność osadów do zagęszczania i odwadniania.

Celem prezentowanych badań było określenie właściwości filtracyjnych, a tym samym podatności na odwadnianie osadów powstających w Zakładzie Produkcji Wody. Ocenę tych właściwości dokonano w oparciu o pomiar oporu właściwego filtracji oraz test CSK. Otrzymane wyniki porównano z wartościami dla komunalnych osadów ściekowych, uzyskanymi przez autorów we wcześniejszych badaniach. Ponadto dokonano oszacowania udziału poszczególnych rodzajów wody występującej w badanych osadach pokoagulacyjnych.

2. Metodyka i przedmiot badań

Przedmiot badań stanowiły osady powstające w wyniku oczyszczania wody surowej oraz wód popłucznych w Zakładzie Produkcji Wody. Woda surowa po wstępnej obróbce poddawana jest koagulacji przy użyciu Flokoru 1,2 A i polielektrolitu, a następnie zostaje oddzielona w osadnikach lamelowych w wyniku czego powstają osady pokoagulacyjne. Ich ilość waha się od 40 do 60 m³ osadu na 100000 m³ oczyszczonej wody. Z osadników osady pokoagulacyjne przepompowywane są do zbiorników magazynowania osadów. Z

kolei oddzielona woda jest filtrowana przez filtry antracytowo-piaskowe, a następnie filtry węglowe. Filtry są okresowo płukane. Wody z płukania filtrów stanowią tzw. ścieki technologiczne, które popularnie są zwane popłuczynami. Ilość powstających popłuczyn jest zależna od wielkości produkcji zakładu i częstotliwości płukań filtrów. Natomiast ilość płukań jest uzależniona od jakości wody surowej, a w szczególności od barwy, mętności, stężenia zawieszin oraz występowania zakwitów w zbiorniku. Wody popłuczne z płukania filtrów antracytowo-piaskowych i węglowych poddawane są wspólnie oczyszczaniu w procesie koagulacji z zastosowaniem siarczanu glinu w separatorach Lamella -Johnson. W separatorach zostają oddzielone osady pokoagulacyjne, które następnie są gromadzone w zbiornikach osadu umieszczonych bezpośrednio pod separatorem. Z tych zbiorników osady są cyklicznie przepompowywane do zbiorników magazynowania osadów, w których ulegają dalszemu zagęszczaniu grawitacyjnemu razem z osadami z ciągu oczyszczania wody surowej. Następnie zagęszczony osad o uwodnieniu około 99% kierowany jest na urządzenie do mechanicznego odwadniania [4].

Dla pobranych ze zbiornika magazynowania osadów przeprowadzono badania, których głównym celem było określenie ich właściwości filtracyjnych. W ramach badań wykonano oznaczenia: zawartości suchej masy, masy mineralnej i organicznej zgodnie z normami: PN-EN 12880 [5] i PN-EN 12879 [6] oraz pomiar oporu właściwego filtracji i test CSK.

Opór właściwy filtracji jest definiowany jako wartość ciśnienia potrzebna do spowodowania jednostkowego przepływu filtratu przez warstwę osadu o jednostkowej suchej masie, przypadającej na jednostkowe pole powierzchni, gdy lepkość filtratu równa jest jedności. Pomiar oporu właściwego filtracji prowadzono na podstawie normy PN-EN 14701-2 [7]. Metoda polega na sączeniu próbki osadu w warunkach podciśnienia i rejestrowaniu otrzymywanej objętości filtratu w czasie. Zestaw do pomiaru oporu właściwego przedstawia fotografia 1. Do badań użyto porcelanowego lejka Büchnera o średnicy 90 mm, połączonego poprzez szczelny korek z głowicą zestawu. Do głowicy podłączony był także cylinder miarowy o objętości 100 cm³ oraz pompa próżniowa i manometr. Na dnie lejka umieszczano zwilżony wodą destylowaną sączek z bibuły filtracyjnej, na który wprowadzano 100 cm³ próbki osadu. Po włączeniu pompy i wytworzeniu w cylindrze pomiarowym podciśnienia 0,5 kG/cm² rozpoczynano filtrację. Pomiar prowadzono do momentu pojawienia się pęknięcia w placku osadowym lub spadku podciśnienia w aparacie [8, 9]. W otrzymanym po filtracji placku osadowym wykonywano oznaczenie suchej masy. Każdorazowo po zakończeniu pomiaru sporządzano wykres zależności funkcji objętości filtratu V od stosunku t/V w celu wyznaczenia współczynnika kierunkowego prostej b, który jest stałą filtracji badanego osadu. Wartość oporu właściwego filtracji obliczano zgodnie z równaniem:

$$r = \frac{2 \cdot b \cdot \Delta p \cdot F^2}{\mu \cdot c} \left[\frac{m}{kg} \right]$$

gdzie: b – stała filtracji badanego osadu, s/m⁶
 Δp – ciśnienie wskazane przez manometr, N/m²
 F – powierzchnia filtracji, m²
 μ – współczynnik lepkości filtratu, N·s/m²
 c – ilość suchej masy przypadająca na jednostkę objętości filtratu, kg/m³

Teoria filtracji Rutha zaadoptowana przez Carmana dla potrzeb filtracji osadów została opracowana dla osadów nieściśliwych. Jednak proces filtracji osadów nie przebiega w całym zakresie zgodnie z modelem Rutha – Carmana. W rzeczywistości wykres

funkcji $f(V) = t/V$ wykazuje odchylenia od prostej. Stąd w procesie filtracji osadów można wyszczególnić trzy podstawowe fazy [12]:

- I faza – to faza początkowa, podczas której tworzy się pierwsza warstwa osadu na przegrodzie filtracyjnej, wtedy opór przepływu jest najmniejszy i przyjęty jako równy oporowi przegrody filtracyjnej,
- II faza – filtracja właściwa, w czasie której ma miejsce wydzielanie przede wszystkim wody wolnej, międzycząsteczkowej,
- III faza – końcowa faza filtracji, podczas której zachodzą istotne zmiany w strukturze plaacka filtracyjnego i wydzielaniu podlegają inne rodzaje wody.

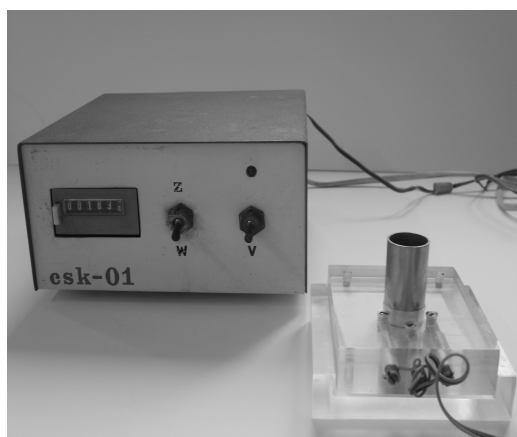
Szybkość filtracji zależy od rodzaju usuwanej wody osadowej. W I fazie znaczącą rolę odgrywa sam układ pomiarowy i rodzaj zastosowanej przegrody filtracyjnej. Powstawaniu pierwszych warstw osadu towarzyszą zjawiska korkowania przegrody filtracyjnej, tworzenia się mostków oraz występowanie zjawisk elektrostatycznych, które są odpowiedzialne za powstawanie potencjału elektrokinetycznego na granicy zetknięcia się przegrody filtracyjnej z osadem. Czas trwania I fazy filtracji oraz objętość uzyskanego filtratu zależą przede wszystkim od zastosowanego lejka Büchnera, użytej przegrody filtracyjnej i właściwości badanego osadu [12]. I faza filtracji w metodach pomiaru oporu właściwego jest różnie traktowana. Z uwagi na to, że jednak większość metod pomiaru proponuje odrzucenie pierwszych partii filtratu, w prowadzonych badaniach faza ta została pominięta przy interpretacji wyników i określona jako faza rozbiegowa.

Innym wskaźnikiem oceny właściwości filtracyjnych osadów jest czas ssania kapilarnego - CSK. Pomiar CSK wykonywano zgodnie z normą PN-EN 14701-1 [10]. Metoda pomiaru CSK polega na zjawisku wysysania przez bibułę chromatograficzną cieczy z osadu. Szybkość z jaką bibuła staje się wilgotna od filtratu jest zależna od zdolności oddawania wody przez osad. Jako czas ssania kapilarnego określa się czas przejścia czołowej granicznej warstwy filtratu pomiędzy okręgami o dwóch różnych średnicach. Pomiaru CSK dokonuje się w specjalnym aparacie wyposażonym w metalowy cylinder, płytkę dolną, płytkę górną z zestawem kołowych współosiowych elektrod i elektroniczny sekundomierz (fot. 2). Próbkę osadu umieszcza się w metalowym cylindrze z otworem w dnie, spoczywającym na bibule filtracyjnej Whatman 17. Na dolną płytkę z bibułą nakłada się płytkę górną z elektrodami umożliwiającymi pomiar czasu, w którym ciecz oddawana przez osad nasącza bibułę. Ciecz z osadu nasączając bibułę rozprzestrzenia się promieniście, a gdy dochodzi do elektrod umieszczonych na mniejszym okręgu, wówczas następuje włączenie sekundomierza i rozpoczyna się pomiar czasu. Badanie prowadzi się do momentu dojścia cieczy do okręgu o większej średnicy, wówczas następuje zatrzymanie sekundomierza. W celu zwiększenia dokładności oznaczenia, pomiar CSK wykonywano co najmniej trzykrotnie dla każdej próbki. Na wynik pomiaru CSK znaczący wpływ ma wiele czynników, takich jak właściwości bibuły filtracyjnej, napięcie powierzchniowe, temperatura oraz zawartość zawiesin.



Fot. 1. Zestaw do pomiaru oporu właściwego filtracji

Phot. 1. Measurement equipment of the specific resistance to filtration



Fot. 2. Zestaw do pomiaru czasu ssania kapilarnego

Phot. 2. Measurement equipment of the capillary suction time

3. Omówienie wyników badań

Uzyskane wyniki badań dla pobranych osadów pokoagulacyjnych przedstawiono w tabeli 1. Charakteryzowały się one małą zmiennością udziału masy organicznej w ciągu roku, której zawartość utrzymywała się na wysokim poziomie w zakresie od 50,4 do 60,6% sm. Najniższy udział masy organicznej w osadzie zaobserwowano w zimie, a najwyższy w okresie wiosenno-letnim. Jest to związane z jakością pobieranej do oczyszczania wody. Ponadto badane osady posiadały niską zawartość suchej masy na poziomie 0,1 - 0,7%, bardzo wysokie uwodnienie (powyżej 99%) i charakteryzowały się słabą podatnością na zagęszczanie.

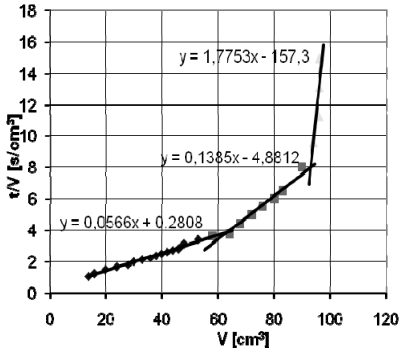
Celem przeprowadzonych badań była ocena ich odwadnialności, którą dokonano na podstawie pomiaru oporu właściwego filtracji i testu CSK. Każdorazowo po pomiarze oporu sporządzano wykresy zależności $f(V) = t/V$ (rys. 1-12). Analizując krzywe filtracji z pominięciem fazy rozbiegowej można zauważyć występowanie aż czterech faz. Przebieg funkcji $f(V) = t/V$ ma przebieg zbliżony do paraboli, którą można zastąpić trzema liniami prostymi określając w ten sposób poszczególne fazy filtracji.

Zgodnie z przyjętym w metodyce opisem faz oporu właściwego filtracji w czasie trwania II fazy ma miejsce usuwanie wody wolnej międzycząsteczkowej. Wartość oporu właściwego dla tej fazy ulegała zmianie od $4,1 \cdot 10^{+12}$ (w marcu) do $5,9 \cdot 10^{+13}$ m/kg (w czerwcu). W wyniku filtracji II fazy uzyskiwano koncentrację suchej masy w placu osadowym od 0,5 do 3,7%. Na granicy przejścia fazy II w fazę III zaobserwowano odchylenie punktów pomiarowych od prostej, co było związane ze wzrostem oporu właściwego. Wówczas usuwana była pozostała część wody wolnej oraz częściowo woda półzwiązana fizycznie w porach. Wartość oporu dla III fazy zmieniała się od $8,8 \cdot 10^{+12}$ do $1,5 \cdot 10^{+14}$ m/kg. Natomiast w chwili, gdy wszystkie cząstki stałe osadu utworzyły placek i usunięta została cała woda wolna, gwałtownie zmalała szybkość filtracji i rozpoczynała się faza IV. Świadczą o tym punkty pomiarowe, które odchylają się od osi i tworzą kolejną prostą.

Tab. 1. Zestawienie wyników badań osadów pokoagulacyjnych z ZPW

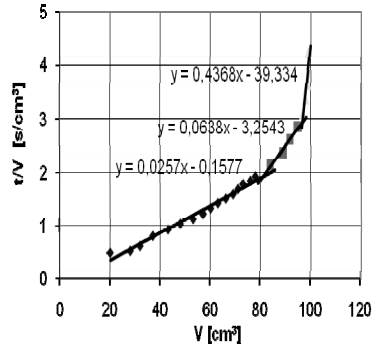
Tab. 1. Setting-up of the results at post-coagulation sludge from WTP

Miesiąc	Sucha masa	Masa orga- niczna	Masa mine- ralna	CSK	Opór właści- wy filtracji	Sucha masa na granicy faz II i III	Sucha masa na granicy faz III i IV	Sucha masa po filtracji	Uwodnienie osadu po filtracji
	%	% sm	% sm		s	m/kg	%	%	%
I	0,3	52,3	47,7	157	II: $1,5 \cdot 10^{+13}$ III: $3,6 \cdot 10^{+13}$ IV: $4,6 \cdot 10^{+14}$	0,7	3,75	9,2	90,8
II	0,3	50,4	49,6	78	II: $6,5 \cdot 10^{+12}$ III: $1,6 \cdot 10^{+13}$ IV: $1,1 \cdot 10^{+14}$	1,4	7,5	6,4	93,6
III	0,4	50,6	49,4	86	II: $4,1 \cdot 10^{+12}$ III: $8,8 \cdot 10^{+12}$ IV: $3,4 \cdot 10^{+13}$	1,4	5,0	9,4	90,6
IV	0,7	57,5	42,5	105	II: $6,8 \cdot 10^{+12}$ III: $4,4 \cdot 10^{+13}$ IV: $5,5 \cdot 10^{+14}$	3,7	7,0	14,3	85,7
V	0,5	55,4	44,6	254	II: $2,2 \cdot 10^{+13}$ III: $1,5 \cdot 10^{+14}$ IV: $1,3 \cdot 10^{+15}$	2,0	7,1	11,2	88,8
VI	0,5	60,3	39,7	595	II: $5,9 \cdot 10^{+13}$ III: $1,2 \cdot 10^{+14}$ IV: $5,3 \cdot 10^{+14}$	1,7	5,0	6,7	93,3
VII	0,5	54,4	45,6	109	II: $6,4 \cdot 10^{+12}$ III: $1,7 \cdot 10^{+13}$ IV: $8,6 \cdot 10^{+13}$	2,5	7,1	9,0	91,0
VIII	0,6	60,6	39,4	115	II: $7,6 \cdot 10^{+12}$ III: $2,8 \cdot 10^{+13}$ IV: $3,5 \cdot 10^{+14}$	2,7	8,6	11,2	88,8
IX	0,1	54,4	45,6	102	II: $3,4 \cdot 10^{+13}$ III: $1,3 \cdot 10^{+14}$ IV: $1,7 \cdot 10^{+15}$	0,5	3,3	4,8	95,2
X	0,4	56,8	43,2	165	II: $1,4 \cdot 10^{+13}$ III: $9,8 \cdot 10^{+13}$ IV: $1,2 \cdot 10^{+15}$	3,1	6,7	10,7	89,3
XI	0,3	56,3	43,7	86	II: $6,5 \cdot 10^{+12}$ III: $1,6 \cdot 10^{+13}$ IV: $1,3 \cdot 10^{+14}$	1,2	7,5	6,9	93,1
XII	0,4	55,5	44,5	245	II: $3,5 \cdot 10^{+13}$ III: $1,3 \cdot 10^{+14}$ IV: $1,9 \cdot 10^{+15}$	2,5	8,0	10,5	89,5



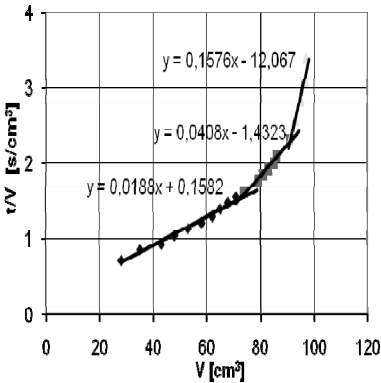
Rys. 1. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w styczniu

Fig. 1. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in January



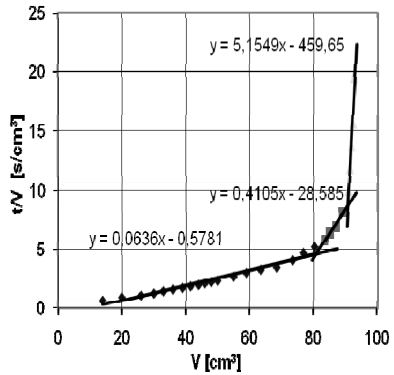
Rys. 2. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w lutym

Fig. 2. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in February



Rys. 3. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w marcu

Fig. 3. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in March



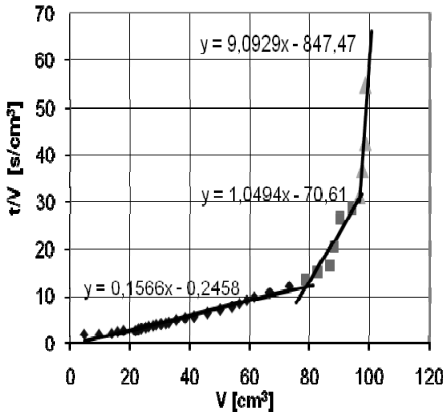
Rys. 4. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w kwietniu

Fig. 4. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in April

Współczynnik kierunkowy trzeciej prostej jest kilkakrotnie wyższy od współczynnika kierunkowego drugiej prostej, co świadczy o wzroście oporu właściwego filtracji. W trakcie trwania tej fazy pod wpływem ciśnienia zniszczeniu ulegała struktura osadu,

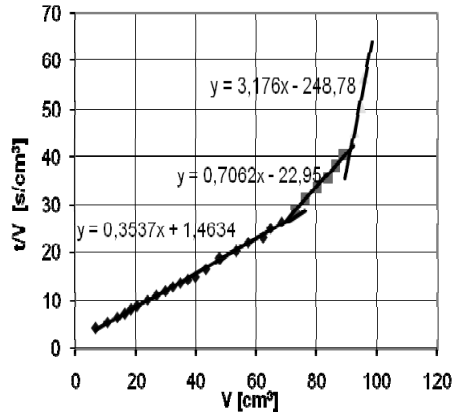
przez co usuwana była woda związana fizycznie (kapilarna, adhezyjna). Opór właściwy dla tej fazy zawierał się w zakresie od $3,4 \cdot 10^{+13}$ (marzec) do $1,9 \cdot 10^{+15}$ m/kg (grudzień). Wzrost oporu właściwego podczas przejścia z fazy III do fazy IV jest dość duży i zależy od charakteru osadu. Na granicy przejścia faz sucha masa wynosiła 3,3 - 8,6%. Zmienna zawartość suchej masy w uzyskiwanym placku osadowym na granicy faz III i IV była związana ze zmiennym w ciągu roku składem osadu, który wpływał na zmiany proporcji rodzaju wody występującej w osadzie. Dla IV fazy osad charakteryzował się bardzo wysokim oporem właściwym.

Ponadto na podstawie sporządzonych wykresów można oszacować procentowy udział poszczególnych rodzajów wody występującej w osadzie pokoagulacyjnym (rys. 13). Stwierdzono, że największy udział 54,8 - 86,6% stanowiła woda wolna, która w ciągu roku utrzymywała się na średnim poziomie około 75%, natomiast w okresie letnim jej udział wrastał do 80%. Z kolei woda wydzielana w III fazie filtracji określana jako pozostałość wody wolnej oraz woda półzwiązana fizycznie (porowa) występowała na poziomie 17%. Woda związana fizycznie (kapilarna) stanowiła 1,8 - 6,0%. Najmniejszy udział procentowy stanowiła woda związana biologicznie i chemicznie. Największy udział 8,6% tej wody zaobserwowano w kwietniu. Było to spowodowane występowaniem zakwitów fitoplanktonu w zbiorniku wodnym. Jest to woda możliwa do usunięcia tylko w procesach termicznych.



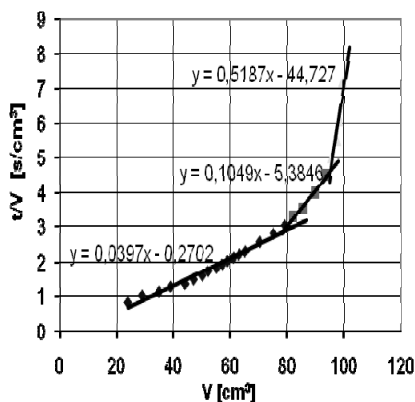
Rys. 5. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w maju

Fig. 5. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in May



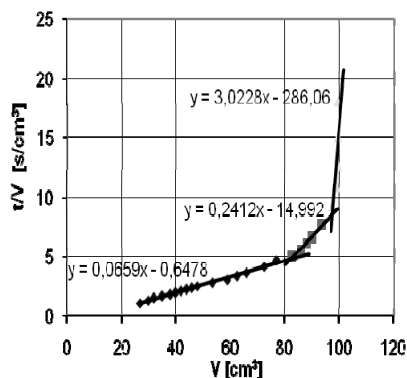
Rys. 6. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w czerwcu

Fig. 6. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in June



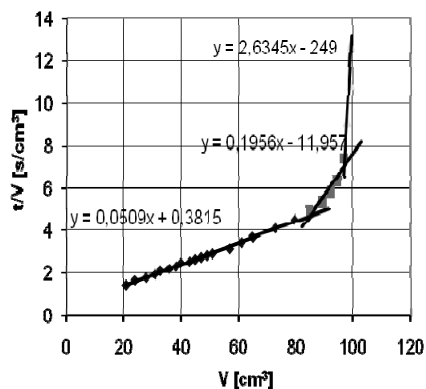
Rys. 7. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w lipcu

Fig. 7. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in July



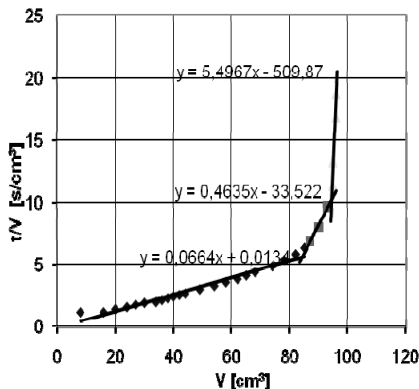
Rys. 8. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w sierpniu

Fig. 8. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in August



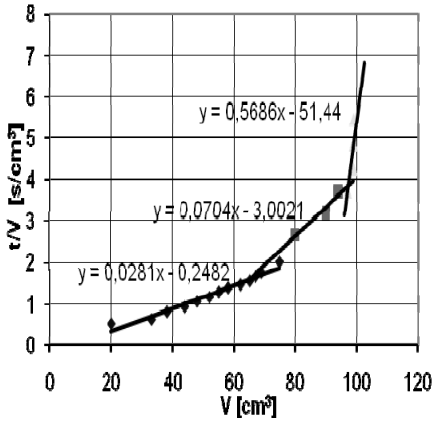
Rys. 9. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych we wrześniu

Fig. 9. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in September



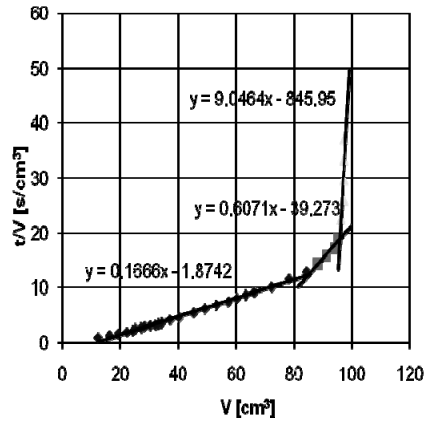
Rys.10. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w październiku

Fig. 10. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in October



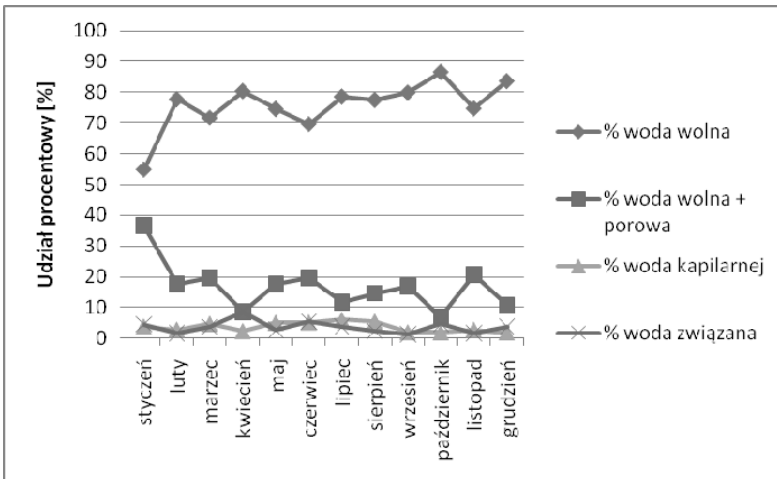
Rys. 11. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w listopadzie

Fig. 11. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in November



Rys. 12. Wykres zależności objętości filtratu V od stosunku t/V dla osadów pokoagulacyjnych pobranych w grudniu

Fig. 12. Graph of the filtrate volume the ratio t/V for post-coagulation sludge collected in December



Rys. 13. Rodzaje wody w badanych osadach pokoagulacyjnych

Fig. 13. Types of water in the studied post-coagulation sludge

Ten sposób interpretacji pozwala na szacunkowe określenie ilości wody wolnej (łatwo usuwalnej), półzwiązanej w porach i kapilarach (trudno usuwalnej) oraz wody związanej chemicznie i biologicznie występującej w badanym osadzie. Metoda ta pozwala również na oszacowanie uwodnienia oraz zawartości suchej masy w osadzie na granicy faz.

Uzyskiwane w procesie filtracji graniczne uwodnienie placka osadowego wynosiło 85,7 – 95,2%. Zaobserwowano, że najlepszy efekt odwodnienia uzyskano w kwietniu, wówczas uwodnienie placka osadowego wynosiło 85,7%. Również w kwietniu badane osady charakteryzowały się najwyższą zawartością suchej masy – 0,7%. Z kolei przy najniższej zawartości suchej masy wynoszącej 0,1% efekt odwodnienia uzyskany w placku osadowym wynosił zaledwie 95,2%. Ponadto stwierdzono, że przy tak wysokim uwodnieniu, po procesie filtracji osady posiadały konsystencję stałą, spoiwą i nie rozplływały się na przegrodzie filtracyjnej. W badaniach laboratoryjnych uzyskiwano słaby efekt odwodnienia określany jako graniczny stopień uwodnienia w placku osadowym (85,7 - 95,2%), gdyż pomiary oporu właściwego filtracji przeprowadzono dla osadów niepreparowanych. W celu poprawy efektu odwadniania osady przed procesem należy poddawać działaniu polielektrolitu. Zastosowanie polielektrolitów pozwala na zmianę proporcji pomiędzy wodą związaną i półzwiązaną ułatwiając tym samym proces filtracji.

Wartości testu CSK informują o ilości wody wolnej, niezwiązanej ze strukturą osadu. W okresie badań wartości CSK zmieniały się od 78 sekund w zimie do 595 sekund latem, w zależności od proporcji rodzajów wody występującej w badanych osadach. Podobną tendencję zaobserwowano dla wartości uzyskanych dla II fazy oporu właściwego. W związku z tym można uznać, że obydwie pomiary mogą być stosowane zamiennie odnośnie szacowania ilości wody wolnej, łatwo oddawanej przez osad w procesie filtracji. Zaobserwowano również, że najwyższe wartości oporu właściwego (dla II fazy) i CSK występowały w tym samym czasie. Pogorszenie właściwości filtracyjnych osadu w tym okresie było spowodowane wzrostem ilości mikroorganizmów występujących w osadzie, co wiązało się z zakwitem fitoplanktonu w zbiorniku wody surowej. Natomiast podczas pomiaru oporu właściwego filtracji, w chwili przejścia do III fazy, podczas której usuwana była woda kapilarna nie obserwowano już ściślej zależności pomiędzy tymi parametrami.

4. Podsumowanie

Problem unieszkodliwiania osadów powstających w procesach produkcji wody przeznaczonej do spożycia istnieje od niedawna. Dotychczas były one traktowane jako osady mineralne i po wstępnym zagęszczeniu były odprowadzane na poletka osadowe. Grawitacyjne odwadnianie osadów na poletkach jest procesem mało efektywnym i długotrwałym, dodatkowo wymaga znacznych powierzchni terenu. Natomiast w wyniku zaostrożnych wymagań jakości wody przeznaczonej do spożycia ilość osadów stale wzrasta. W związku z tym obecnie dąży się do minimalizacji ich objętości poprzez szukanie skutecznych metod ich odwadniania. Jednym ze sposobów pozwalających na zmniejszenie objętości osadów jest ich mechaniczne odwadnianie. Prowadzone badania miały na celu określenie podatności osadów z Zakładu Produkcji Wody na odwadnianie. W procesach oczyszczania wody i popłuczyn powstają osady pokoagulacyjne, które posiadają strukturę amorficzną i można je zaliczyć do osadów trudno odwadnialnych. Podatność tych osadów na odwadnianie określono na podstawie badań oporu właściwego filtracji i czasu ssania kapilarnego. Badane osady wykazywały zmienne właściwości filtracyjne w ciągu

roku. Czas ssania kapilarnego zmieniał się w szerokim zakresie od 78 sekund zimą do 595 sekund latem. Podobną tendencję zaobserwowano również w przypadku oporu właściwego. Badania oporu właściwego wykazały występowanie czterech faz w procesie filtracji. W omówieniu i interpretacji wyników pominięto fazę I, tzw. rozbiegową. Podsumowując można stwierdzić, że faza II charakteryzowała się stosunkowo niskim oporem właściwym. Podczas tej fazy odfiltrowywana była woda wolna. Wraz ze wzrostem oporu właściwego rozpoczynała się faza III, podczas której usuwana była pozostałość wody wolnej oraz częściowo woda półzwiązana zawarta w porach. W czasie trwania fazy IV obserwowano kolejny wzrost oporu właściwego i wówczas była usuwana woda związana fizycznie (kapilarna). Po procesie filtracji uzyskiwano zawartość suchej masy osadu od 4,8% do 14,3%. Pozostałą ilość wody stanowiła woda związana chemicznie i biologicznie, którą można usunąć w procesach termicznych. Zmienna zawartość suchej masy w uzyskiwanym placku osadowym była związana z różnym w ciągu roku składem osadu, który wpływał na zmiany proporcji rodzaju wody w nim występującej. Z kolei skład osadu był zależny od jakości wody surowej pobieranej do oczyszczania, która może ulegać sezonowym zmianom.

Wyniki oporu właściwego filtracji uzyskane dla osadów pokoagulacyjnych porównano z wartościami dla komunalnych osadów ściekowych, otrzymanymi przez autorów we wcześniejszych badaniach [11-13]. Pomiary oporu właściwego zostały wykonane w tych samych warunkach, tzn. w tym samym układzie badawczym, przy użyciu tej samej bibuły filtracyjnej i przy tym samym podciśnieniu. Badania przeprowadzone dla komunalnych osadów ściekowych wykazały, że opór właściwy dla poszczególnych faz zmieniał się w zakresie od $4,4 \cdot 10^{+13}$ do $8,8 \cdot 10^{+13}$ m/kg dla fazy II, od $8,0 \cdot 10^{+13}$ do $4,3 \cdot 10^{+14}$ m/kg dla fazy III oraz $8,3 \cdot 10^{+14}$ - $9,7 \cdot 10^{+15}$ m/kg dla fazy IV. Zaobserwowano jednak, że w przypadku komunalnych osadów ściekowych czas filtracji II fazy był znacznie dłuższy niż dla osadów pokoagulacyjnych, co oznacza że osady pokoagulacyjne łatwiej oddają wodę wolną w procesie filtracji.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2008 jako projekt badawczy N207 051 31/2323

Bibliografia

- [1] Mołczan. M., Grochulska-Segal E., Małysa H., Adamski W., Biłyk A.: Procesy oczyszczania wody stosowane w krajowych wodociągach, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 2008, 1, 10.
- [2] Florkiewicz A., Krajewski P., Leszczyńska M., Sozański M. M.: *Technologia usuwania i unieszkodliwiania osadów z uzdatniana wody*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1999.
- [3] Oleszkiewicz J.: *Gospodarka osadami ściekowymi*, Poradnik decydenta, LEM s.c., Kraków, 1998.
- [4] Płonka I., Płonka A., Horzela J.: *Odwadnialność osadów SUW Kozłowa Góra. Sympozjum Ogólnokrajowe: Ochrona wód, gospodarka wodna, zaopatrzenie w wodę i odprowadzenie ścieków*, HYDROPREZENTACJE IX, Ustroń, 2006.

- [5] Polski Komitet Normalizacyjny: Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie suchej pozostałości i zawartości wody, PN-EN 12880, Wrzesień, 2004.
- [6] Polski Komitet Normalizacyjny: Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie straty przy prażeniu suchej masy osadu, PN-EN 12879, Wrzesień, 2004.
- [7] Polski Komitet Normalizacyjny: Charakterystyka osadów ściekowych. Właściwości filtracyjne. Część 2: Oznaczanie oporu właściwego filtracji, PE-EN ISO 14701-2, Maj, 2007.
- [8] Lewandowska-Suschka A., Przywarska R.: Laboratoryjne badania gleby, stałych odpadów miejskich i osadów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1978.
- [9] Fukas-Płonka Ł.: Analiza metod pomiaru oporu właściwego osadów ściekowych, rozprawa doktorska, Wrocław, 1983.
- [10] Polski Komitet Normalizacyjny: Charakterystyka osadów ściekowych. Właściwości filtracyjne. Część 1: Czas ssania kapilarnego CST, PE-EN ISO 14701-1, Maj 2007.
- [11] Płonka I., Barbusiński K.: Współfermentacja komunalnych osadów ściekowych z osadami pokoagulacyjnymi, XX Krajowa VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. "Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód", Gniezno 15-18 czerwiec, 2008, s. 359-368.
- [12] Płonka I.: Badania wpływu właściwości osadów z uzdatniania wody na ich prze-róbkę, praca doktorska, Gliwice, 2008.
- [13] Płonka I., Barbusiński K.: Preliminary research into the digestion of post-coagulation sludge, Environment Protection Engineering – artykuł zatwierdzony do druku.