

MAREK KALENIK, DARIUSZ MORAWSKI

Katedra Inżynierii Budowlanej  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## BADANIE ILOŚCI I PRĘDKOŚCI SEDYMENTACJI OSADÓW W WODACH POPLUCZNYCH Z FILTRÓW POSPIESZNYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę wyników badań sedymentacji osadów w wodach po płukaniu filtrów odżelaziających. Badania sedymentacji osadów przeprowadzono dla dwóch filtrów pospiesznych, pracujących w Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej SGGW, która zaopatruje w wodę całą uczelnię i domy studenckie. Jeden z filtrów wypełniony był piaskiem kwarcowym o uziarnieniu od 0,8 do 1,2 mm, a drugi dolomitem impregnowanym termicznie, czyli prażonym (NEVTRACO) o uziarnieniu od 1,2 do 2,5 mm. Uzdataniana woda na filtrach pospiesznych była ujmowana z utworów czwartorzędowych za pomocą studni wierconych. Zastosowane w stacji uzdatniania wody złożo z dolomitu prażonego charakteryzuje się o 8% lepszą skutecznością w usuwaniu związków żelaza niż złożo kwarcowe. Największa objętość osadów w wodach po płukaniu filtrów odżelaziających osadza się w czasie pierwszych 30 min. Stanowi to średnio około 75% objętości osadów w stosunku do całego czasu sedymentacji.

**Słowa kluczowe:** sedymentacja osadów, osadnik popłuczyn, filtr odżelaziający, stacja uzdatniania wody

### Wstęp

Uzdatnianie wód podziemnych polega głównie na usuwaniu z wody surowej rozpuszczonych gazów, przeważnie agresywnego dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) i siarkowodoru ( $\text{H}_2\text{S}$ ) oraz związków żelaza i manganu. Na obszarach wiejskich stacje do uzdatniania wód podziemnych buduje się jako stacje jednostopniowego pompowania – czyli z układami hydroforowymi lub jako stacje dwustopniowego pompowania – czyli z terenowymi (technologicznymi) zbiornikami wodociągowymi (KALENIK 2009).

Po płukaniu filtrów odżelaziających i odmanganiających powstają osady (SOZAŃSKI 1999, SIWIEC 2007), które są zatrzymywane w osadniku popłuczyn. Znajomość czasu sedymentacji osadów w wodach po płukaniu filtrów jest ważna, ponieważ umożliwia

prawidłowe zaprojektowanie osadnika popłuczyn i ustawienie odstępów czasowych między kolejnymi płukaniem filtrów.

W artykule przedstawiono analizę wyników badań, których celem była ocena skuteczności sedimentacji osadów w wodzie po płukaniu filtrów odżelaziających, wypełnionych złożem kwarcowym i dolomitem prażonym (NEVTRACO).

## Material i metody

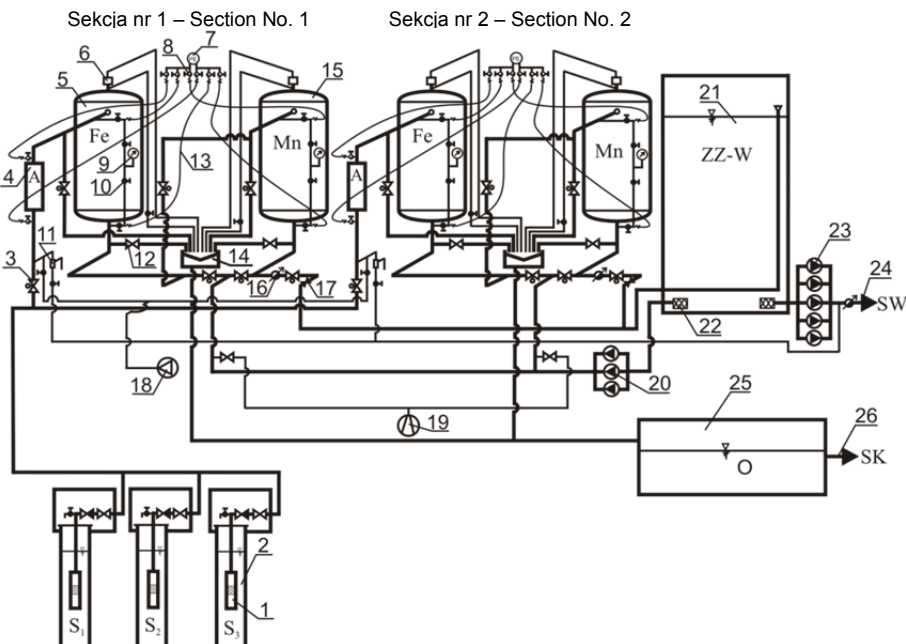
Badania sedimentacji osadów w wodzie po płukaniu filtrów odżelaziających przeprowadzono w Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (N-BSW SGGW), w której znajduje się ciąg technologiczny do uzdatniania wody ujmowanej z utworów czwartorzędowych. Woda z utworów czwartorzędowych jest czerpana z trzech studni wierconych (rys. 1). W wodzie z utworów czwartorzędowych przekroczone są dopuszczalne stężenia żelaza i manganu.

Technologia uzdatniania wody ujmowanej z utworów czwartorzędowych opiera się na procesie napowietrzania wody w aeratorze i filtracji przez złożę z piasku kwarcowego w odżelaziaku (sekcja 1, rys. 1), a następnie przez uaktywnione złożę z piasku kwarcowego w odmanganiaku. W sekcji 2 (rys. 1) odżelaziak jest wypełniony złożem NEVTRACO.

Piasek kwarcowy to luźna skała osadowa o gęstości około  $2,62 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i porowatości od 42 do 47% objętości. Podstawowy skład piasku kwarcowego to  $\text{SiO}_2$  około 98%, a pozostałe składniki stanowią 2%. Natomiast NEVTRACO to impregnowany termicznie dolomit (prażony) o gęstości od 0,9 do  $1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , który charakteryzuje się ostrymi krawędziami, porowatą strukturą oraz chropowatymi powierzchniami ziaren. Podstawowy skład NEVTRACO to:  $\text{CaCO}_4$  – 98%,  $\text{MgO}$  – 0,6%,  $\text{SiO}_2$  – 0,5%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,1%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,15%,  $\text{MnO}$  – 0,01%,  $\text{H}_2\text{O}$  – 0,2%, a pozostałe składniki stanowią 0,2%.

Uzdatnianie wody ujmowanej z utworów czwartorzędowych prowadzone jest w dwóch sekcjach nr 1 i 2 (rys. 1), zbudowanych z aeratora (A), filtru odżelaziającego (Fe) i filtru odmanganiającego (Mn), zakończonych zbiornikiem zapasowo-wyrównawczym (ZZ-W). Aeratory są wypełnione pierścieniami Białeckiego. Średnica zainstalowanych aeratorów wynosi 0,2 m, długość 1,5 m, średnica pierścieni 12 mm, a miąższość zasypowa 0,75 m. Średnica filtrów odżelaziających i odmanganiających wynosi 2,4 m, a miąższość złoża właściwego – 1,0 m. Średnica ziaren w złożu kwarcowym wynosi od 0,8 mm do 1,2 mm, a w złożu z dolomitu prażonego od 1,2 do 2,5 mm. Natomiast miąższość warstwy podtrzymującej wynosi 0,3 m, a średnica ziaren od 5 mm do 15 mm. Maksymalna produkcja wody z sekcji nr 1 i 2 wynosi  $120 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , a prędkość filtracji  $10 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Zasada działania ciągu wodnego (rys. 1), w którym uzdatnia się wodę z utworów czwartorzędowych, jest następująca. W procesie filtracji woda ze studni wierconych (2) o głębokości około 30 m, pompami głębinowymi (1) tłoczona jest do aeratorów współpracujących (4) wypełnionych pierścieniami Białeckiego, w których następuje wymieszanie wody z powietrzem. Powietrze do aeratorów może być włączane za pomocą sprężarki (18) lub zasysane za pomocą strumienia (11) z wodą obcą, czyli z układu pompowania drugiego stopnia. Mieszanka wodno-powietrzna z aeratorów przepływa



Rys. 1. Schemat stacji uzdatniania wody (KALENIK 2009): 1 – pompa głębinowa, 2 studnia wiercona, 3 automatyczny zawór do regulacji przepływu, 4 – aerator, 5 – filtr odżelaziający, 6 – odpowietrznik kulowy, 7 – elektroniczny miernik różnicy ciśnienia, 8 – zawór odcinający z końcówką impulsową, 9 – manometr, 10 – zawór odcinający, 11 – strumienica do napowietrzania wody, 12 – ręczny zawór do regulacji przepływu, 13 – wężyki impulsowe, 14 – skrzynka pomiarowo-kontrolna (spust do kanalizacji), 15 – filtr odmanganiający, 16 – elektroniczny przepływomierz, 17 – ręczny zawór grzybkowy, 18 – sprężarka, 19 – dmuchawa powietrza, 20 – pompy do płukania filtrów, 21 – zbiornik zapasowo – wyrównawczy, 22 – kosh ssawny, 23 – zestaw hydroforowo-pompowy, 24 – sieć wodociągowa, 25 – osadnik popłuczyn, 26 – sieć kanalizacyjna.

Fig. 1. Scheme of water treatment plant (KALENIK 2009): 1 – deep-well pump, 2 – bored well, 3 – automatic cut-off valve, 4 – aerator, 5 – iron remover, 6 – ball vent, 7 – electronic differential pressure meter, 8 – cut-off valve with pulse connector, 9 – manometer, 10 – cut-off valve, 11 – jet pump for water aeration, 12 – manual cut-off valve, 13 – pulse cable, 14 – drain discharger, 15 – manganese remover, 16 – electronic flowmeter, 17 – manual valve for flow control, 18 – compressor, 19 – air blower, 20 – washing pumps, 21 – reserve and compensating tank, 22 – suction rose, 23 – pressure booster unit, 24 – water-pipe network, 25 – washings settling tank, 26 – sewerage system

do filtrów odżelaziających (5), w których na złożu kwarcowym żelazo jest usuwane z wody. Nadmiar powietrza wydostaje się przez odpowietrzniki kulowe (6), zamontowane w górnej dennicy filtrów. Następnie woda z filtrów odżelaziających przepływa do filtrów odmanganiających (15), w których na uaktywnionym złożu kwarcowym następuje usuwanie manganu z wody. Woda uzdatniona tłoczona jest do zbiornika zapasowo-wyrównawczego (21), a następnie za pomocą zestawu hydroforowo-pompowego (23) – do sieci wodociągowej (24).

Płukanie filtrów w ciągu technologicznym (rys. 1), w którym uzdatniana jest woda z utworów czwartorzędowych, odbywa się najpierw powietrzem tłoczonym do układu dmuchawą powietrza (19), a następnie wodą uzdatnioną, tłoczoną pompami płucznymi (20) ze zbiornika zapasowo-wyrównawczego (21). Płukanie samym powietrzem trwa trzy minuty, a następnie wodą piętnaście minut. Płukanie filtru odbywa się po przefiltrowaniu przez złożę 1200 m<sup>3</sup> wody. Popłuczyny z poszczególnych filtrów kierowane są do spustów kanalizacyjnych (14) i dalej do osadnika popłuczyn (25), w celu sedymentacji osadów żelaza i manganu wypłukanych z filtrów. Wodę nadosadową z osadnika odprowadza się do sieci kanalizacyjnej (26). Poszczególne filtry płukane są pojedynczo.

Utylizacja zgromadzonych osadów w osadniku popłuczyn (25) odbywa się co trzy miesiące, przez ich wywóz samochodem asenizacyjnym do oczyszczalni ścieków.

Metodyka badań obejmowała wykonanie analizy jakości wody surowej i uzdatnionej oraz oznaczanie w pobranych próbkach wody o objętości 1,0 dm<sup>3</sup> zawiesin łatwo opadających w leju Imhoffa – co 5, 10, 20, 30 45, 60 i 120 min. Próbkę wody z osadem pobierano w skrzynce pomiarowo-kontrolnej (14, rys. 1), co 15 s podczas płukania filtrów. Badanie sedymentacji osadów w wodach po płukaniu filtrów odżelaziających przeprowadzono dla dwóch sposobów płukania. Pierwszy polegał na tym, że najpierw złożę przez 3 min płukano powietrzem, a następnie przez 15 min wodą uzdatnioną. Drugi sposób płukania polegał na tym, że przez 20 min złożę płukano tylko samą wodą uzdatnioną. Dla każdego ze złożów i sposobu płukania przeprowadzono po trzy serie pomiarowe, a uzyskane wyniki uśredniono i przedstawiono na wykresach. Badanie efektywności sedymentacji osadów w wodach po płukaniu złoża kwarcowego i NEVTRACO (dolomit prażony) prowadzono przez dwie godziny.

## Wyniki i dyskusja

W tabeli 1 podano wyniki badań skuteczności uzdatniania wody po poszczególnych urządzeniach w N-BSW SGGW. W wodzie surowej przekroczone są parametry żelaza i manganu. Analizując uzyskane wyniki badań, można stwierdzić, że N-BSW SGGW pracuje prawidłowo, ponieważ wszystkie analizowane parametry wody uzdatnionej są zgodne z obowiązującą normą (ROZPORZĄDZENIE... 2007, 2010). Lepszą skutecznością w usuwaniu związków żelaza z wody surowej charakteryzuje się filtr odżelaziający wypełniony dolomitem prażonym (sekcja 2, rys. 1, tab. 1) niż filtr wypełniony piaskiem kwarcowym (sekcja 1, rys. 1, tab. 1). Skuteczność usuwania związków żelaza na złożu z dolomitu prażonego wyniosła 97%, a na złożu kwarcowym 89%, czyli różnica wynosi 8%. Natomiast po przefiltrowaniu wody przez filtry odmanganiające żelazo całkowicie usuwane jest z wody.

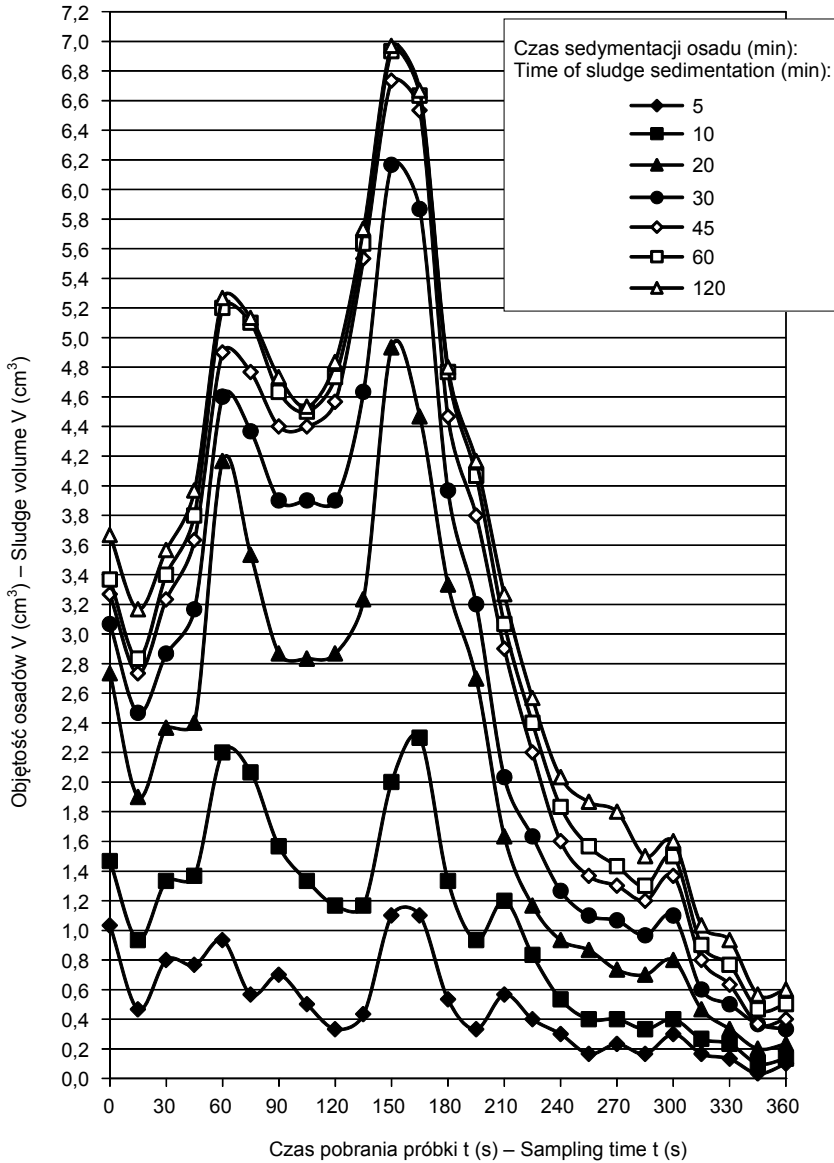
W osadnikach wód popłucznych zachodzi sedymentacja grawitacyjna, czyli jest to proces, w którym do wydzielenia cząstek stałych (osadów) z cieczy wykorzystuje się zjawisko opadania tych cząstek pod wpływem sił ciężkości. Należy również zwrócić uwagę, że na ilość osadów wytrąconych w złożach filtracyjnych ma wpływ sposób napowietrzania wody w aeratorze (KALENIK i MORAWSKI 2007, 2009, KALENIK i IN. 2006).

Na rysunku 2 (złożę kwarcowe) i 3 (złożę NEVTRACO) przedstawiono wyniki badań sedymentacji osadów po płukaniu najpierw powietrzem, a następnie wodą. Analizując

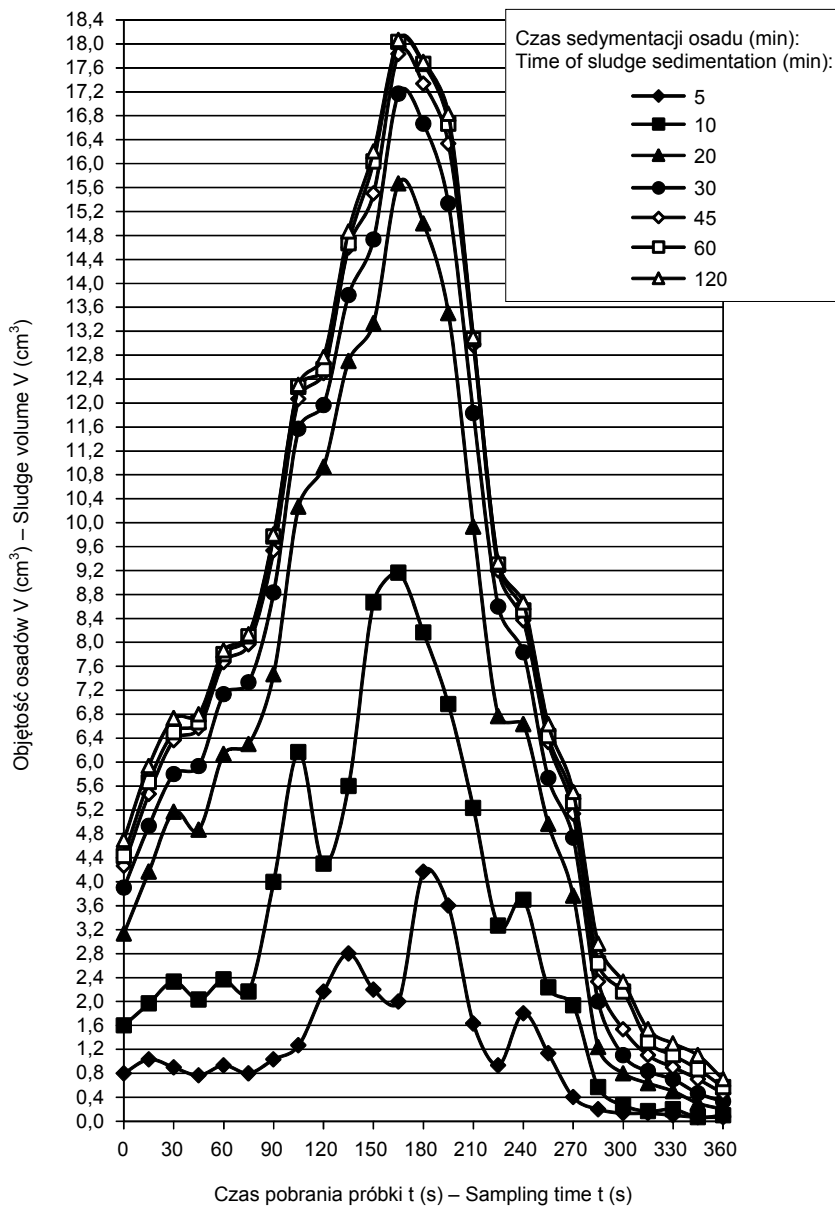
Tabela 1. Podstawowe parametry skuteczności uzdatniania wody  
 Table 1. Fundamental parameters of the effectiveness of treating water

Parametr Parameter	Studnia Well	Sekcja 1 Section No. 1			Sekcja 2 Section No. 2			Zbiornik wody czystej and compensating tank
		aerator aerator	odżelaziacz iron remover	odmanganianiacz manganes remover	aerator aerator	odżelaziacz iron remover	odmanganianiacz manganes remover	
Mętność (NTU) Turbidity (NTU)	0,57	1,25	0,58	0,15	1,16	1,92	0,13	0,23
Barwa Colour	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zapach Smell	nieakcept. nonacceptable	akcept. acceptable	akcept. acceptable	akcept. acceptable	akcept. acceptable	akcept. acceptable	akcept. acceptable	akcept. acceptable
Smak Taste	akcept.	akcept.	akcept.	akcept.	akcept.	akcept.	akcept.	akcept.
Twardość ogólna (°tw) Total hardness (°tw)	20,86	20,61	20,70	20,66	20,91	20,58	20,24	21,18
Utlencalność (mg O <sub>2</sub> na 1 dm <sup>3</sup> ) Oxygen consumption (mg O <sub>2</sub> per 1 dm <sup>3</sup> )	0,95	–	–	0,67	–	–	0,86	0,90
Azotany (mg NO <sub>3</sub> na 1 dm <sup>3</sup> ) Nitrates (mg NO <sub>3</sub> per 1 dm <sup>3</sup> )	0,30	0,23	0,75	1,01	0,18	0,64	0,80	0,85
Żelazo ogólne (mg·dm <sup>-3</sup> ) Total iron (mg·dm <sup>-3</sup> )	2,38	2,18	0,25	nie wyst. nonoccur	2,25	0,07	nie wyst. nonoccur	nie wyst. nonoccur
Mangan (mg·dm <sup>-3</sup> ) Manganese (mg·dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,34	0,05	0,04	0,31	0,08	0,03	0,02

wyniki badań (rys. 2 i 3), można stwierdzić, że największa ilość osadów ze złóż była wyplukiwana pod koniec okresu płukania powietrzem. Największą objętość osadów – wynoszącą 7,0 cm<sup>3</sup> – po płukaniu złoża kwarcowego zaobserwowano w próbce pobranej w 150 sekundzie, natomiast dla złoża NEVTRACO największą objętość osadów – wynoszącą 18,1 cm<sup>3</sup> – zaobserwowano w próbce pobranej w 165. sekundzie. W trakcie



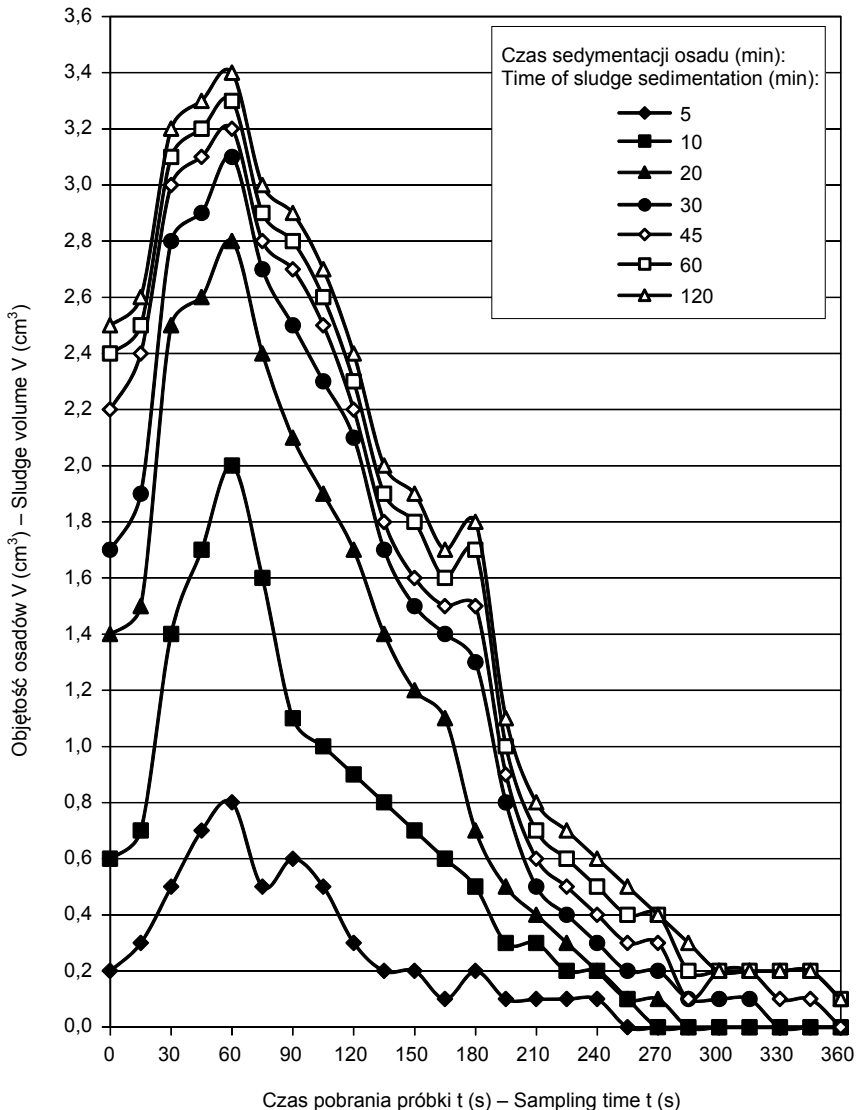
Rys. 2. Sedymentacja osadów po płukaniu złoża kwarcowego powietrzem i wodą  
 Fig. 2. Sedimentation of sludge after rinsing the quartz bed with air and water



Rys. 3. Sedymencja osadów po płukaniu złoża NEVTRACO powietrzem i wodą  
Fig. 3. Sedimentation of sludge after rinsing the NEVTRACO bed with air and water

płukania powietrzem i wodą ze złoża NEVTRACO wypłukiwano średnio 2,5 razy więcej osadów niż ze złoża kwarcowego – złożo NEVTRACO ma zatem większą zdolność sorpcyjną.

W ciągu dwóch godzin pomiaru sedymentacji objętości osadów w poszczególnych próbkach dla obydwu złożeń, po płukaniu powietrzem i wodą, najlepsza skuteczność sedymentacji osadów występuje w przedziale czasowym od 10 do 20 min po rozpoczęciu pomiaru. Natomiast po 30 minutach pomiaru sedymentacji osadów w poszczególnych próbkach dla złoża kwarcowego objętość osadów w leju Imhoffa wahała się od 54% do 89%, co średnio stanowiło 73%, a dla złoża NEVTRACO – od 42% do 95%, co średnio stanowiło 81%. W pozostałych 90 min pomiaru sedymentacji osadów w poszczególnych

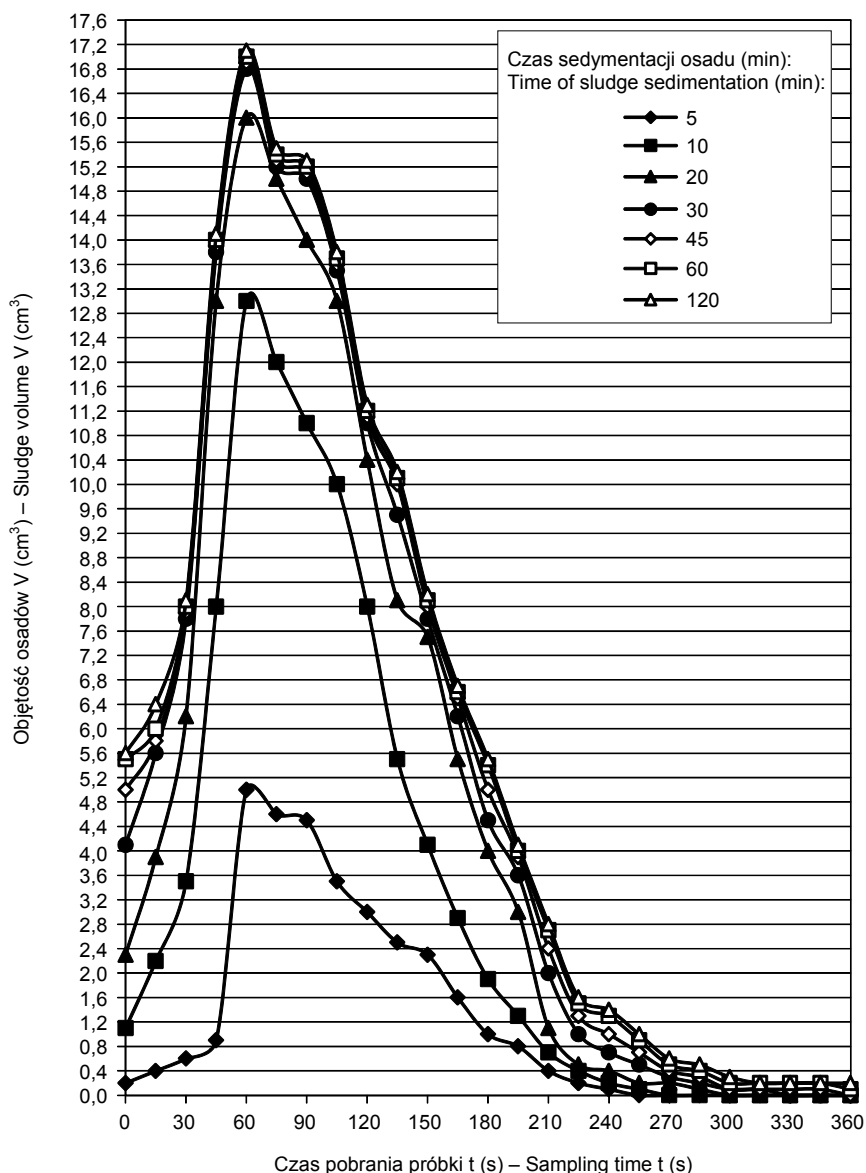


Rys. 4. Sedymentacja osadów po płukaniu złoża kwarcowego wodą  
Fig. 4. Sedimentation of sludge after rinsing the quartz bed water



próbek dla złoża kwarcowego objętość osadów w leju Imhoffa wahała się od 11% do 46%, co średnio stanowiło 27%, a dla złoża NEVTRACO – od 5% do 58%, co średnio stanowiło 19%.

Na rysunkach 4 (złożo kwarcowe) i 5 (złożo NEVTRACO) przedstawiono wyniki badań sedimentacji osadów po płukaniu tylko wodą. Na podstawie wyników badań



Rys. 5. Sedymencja osadów po płukaniu złoża NEVTRACO wodą  
Fig. 5. Sedimentation of sludge after rinsing the NEVTRACO bed water

(rys. 4 i 5) można stwierdzić, że największa ilość osadów ze złóż była wypłukiwana na początku okresu płukania. Największą objętość osadów, wynoszącą  $3,4 \text{ cm}^3$  po płukaniu złoża kwarcowego, a  $17,1 \text{ cm}^3$  dla złoża NEVTRACO, zaobserwowano w próbkach pobranych w 60. s. W trakcie płukania tylko wodą ze złoża NEVTRACO wypłukiwano średnio 3,5 razy więcej osadów niż ze złoża kwarcowego, co potwierdza, że złożo NEVTRACO ma większą zdolność sorpcyjną.

W ciągu 2 h pomiaru sedymentacji objętości osadów w poszczególnych próbkach dla obydwu złóż, po płukaniu tylko wodą, najlepsza skuteczność sedymentacji osadów występuje w przedziale czasowym 5-10 min po rozpoczęciu pomiaru. Po 30 min pomiaru sedymentacji osadów w poszczególnych próbkach dla złoża kwarcowego objętość osadów w leju Imhoffa wahała się od 33% do 91%, co średnio stanowiło 70%, a dla złoża NEVTRACO – od 33% do 98%, co średnio stanowiło 77%. W pozostałych 90 min pomiaru sedymentacji osadów w poszczególnych próbkach dla złoża kwarcowego objętość osadów w leju Imhoffa wahała się od 9% do 67%, co średnio stanowiło 30%, a dla złoża NEVTRACO – od 2% do 67%, co średnio stanowiło 23%.

Na podstawie wyników badań (rys. 2, 3, 4 i 5) można stwierdzić, że lepsze efekty płukania filtrów uzyskuje się, płucząc je powietrzem i wodą niż samą wodą, co jest zgodne z poglądami prezentowanymi w literaturze (SIWIEC 2007).

## Wnioski

1. Zastosowane w stacji uzdatniania wody złożo z dolomitu prażonego charakteryzuje się o 8% lepszą skutecznością w usuwaniu związków żelaza niż złożo kwarcowe. Im większa ilość wytrąconych osadów jest zatrzymywana w złożu filtracyjnym, tym większa jego skuteczność.

2. W trakcie filtracji wody złożo NEVTRACO więcej zatrzymuje osadów niż złożo kwarcowe, ponieważ ziarna złoża są bardziej porowate i charakteryzują się większą powierzchnią sorpcyjną.

3. Najwięcej osadów ze złóż filtracyjnych w filtrach odżelaziających wypłukuje się w pierwszych sześciu minutach płukania; po tym czasie zawartość osadów w wodach popłucznych jest znikoma.

4. Największa objętość osadów w wodach po płukaniu filtrów odżelaziających osadza się w czasie pierwszych 30 min. Stanowi to średnio około 75% objętości osadów w stosunku do całego czasu sedymentacji.

## Literatura

- KALENIK M., 2009. Zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków. Wyd. SGGW, Warszawa.
- KALENIK M., MORAWSKI D., 2007. Badanie strat hydraulicznych i skuteczności napowietrzania wody w aeratorze rurowym. Gaz Woda Tech. Sanit. 12: 14-17.
- KALENIK M., MORAWSKI D., 2009. Badanie skuteczności napowietrzania wody w aeratorze rurowym. Gaz Woda Tech. Sanit. 2: 23-26.
- KALENIK M., MORAWSKI D., STAŃKO G., 2006. Experimental investigation of hydraulic resistance in pipe aerators. Electr. J. Pol. Agric. Univ. Civ. Eng. 4, 9.

Kalenik M., Morawski D., 2011. Badanie ilości i prędkości sedymentacji osadów w wodach popłucznych z filtrów pospiesznych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #81.

---

ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. 2007. Dz. U. 61, poz. 417.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. 2010. Dz. U. 72, poz. 466.

SIWIEC T., 2007. Warunki płukania jednowarstwowych i dwuwarstwowych filtrów pospiesznych. Wyd. SGGW, Warszawa.

SOZAŃSKI M., 1999. Technologia usuwania i unieszkodliwiania osadów z uzdatniania wody. Wyd. PP, Poznań.

## RESEARCH QUANTITY AND VELOCITY OF SLUDGE SEDIMENTATION IN THE WATERS AFTER A WASHING THE RAPID FILTERS

**Summary.** In the article was described analysis of results research of sludge sedimentation in waters after a washing the iron removal filters. The research of sludge sedimentation was made for two the speedy filters. Filters are working in the Scientific Research Water Treatment Plant of the Agricultural University in Warsaw which is supplying with water the entire college and student houses. One of filters was filled up with quartz sand about grains from 0.8 to 1.2 mm, but with the other impregnated thermally dolomite, that is roasted (NEVTRACO) about grains from 1.2 to 2.5 mm. Treated water in a speedy filters was take out from formations Quaternary with the aid of the bored wells. The roasted dolomite bed applied in the water treatment plant is characteristic about the 8%, the better effectiveness in removing compounds of iron than the quartz bed. Biggest volume of sludge in waters after washing iron removal filters are settling during first 30 min. A volume of sludge is making it round about the 75% on average in comparison with the entire time of sedimentation.

**Key words:** sludge sedimentation, washings settling tank, iron removal filter, water treatment plant

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Marek Kalenik, Katedra Inżynierii Budowlanej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Poland, e-mail: marek\_kalenik@sggw.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*  
13.06.2011

*Do cytowania – For citation:*

*Kalenik M., Morawski D., 2011. Badanie ilości i prędkości sedymentacji osadów w wodach popłucznych z filtrów pospiesznych. Nauka Przyr. Technol. 5, 5, #81.*