

Justyna CZAJKOWSKA, Tadeusz SIWIEC

Katedra Inżynierii Budowlanej SGGW w Warszawie
Department of Building Engineering WULS – SGGW

Krystalizacja struwitu ze ścieków syntetycznych w instalacji doświadczalnej w warunkach przepływowych

Crystallization of struvite from synthetic wastewater in experimental installation under flow conditions

Słowa kluczowe: struwit, oczyszczanie ścieków, biogeny

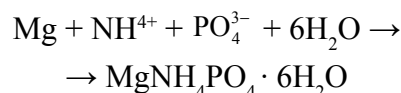
Key words: struvite, waste water treatment, nutrients

Wprowadzenie

Istotą biologicznego oczyszczania ścieków jest naturalny przyrost bakterii, pierwotniaków i innych mikroorganizmów, tworzących osad czynny. Ze względu na to, że dopływające do oczyszczalni ścieki przynoszą kolejne porcje związków organicznych, ilość osadu czynnego wzrasta i jego nadmiar musi być usuwany. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Rozp. MŚ 2006), w oczyszczalniach niezbędne staje się, oprócz usuwania związków organicznych wyrażanych przez BZT₅ i ChZT, usuwanie związków biogenych, czyli azotu i fosforu. Usuwanie tych związków przyczynia się do istotnego zwiększenia

stężeń fosforu oraz w niektórych przypadkach azotu w osadzie nadmiernym, a co za tym idzie – kumulacji związków zawierających te pierwiastki w ciągu technologicznym oczyszczalni ścieków. Osad nadmierny w warunkach fermentacji beztlenowej ulega szeregowi istotnych przemian, które w pewnych warunkach mogą przyczyniać się do powstawania struwitu.

Struwit to uwodniony fosforan amonowo-magnezowy o wzorze chemicznym $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$. Jest on minerałem o krystalicznej strukturze odkrytym w 1845 roku (Tabernacki 2002, Soczek 2003) lub 1846 roku (Gorazda i in. 2004), a jego syntezę przedstawia reakcja:



Z powyższej reakcji wynika, iż dla powstawania struwitu konieczny jest odpowiedni stosunek stężenia magnezu,

amonu i fosforanów, który w literaturze (Malej 2002) podawany jest w formie molowej: 1 (Mg^{2+}) : 1 (NH_4^+) : 1 (PO_4^{3-}).

Cechami charakterystycznymi struwitu są: barwa biała przejrzysta lub półprzejrzysta o połysku szklistym, przełam nierówny, łupliwość od dobrej do słabej, twardość w skali Mosha 2, masa właściwa $1700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Tabernacki 2002, Soczek 2003, Gorazda i in. 2004).

W oczyszczalniach ścieków najbardziej podatny na tworzenie się struwitu jest ciąg przeróbki osadów, a szczególnie zespół rurociągów i urządzeń zlokalizowanych za komorą fermentacyjną. W skróconej formie proces powstawania struwitu można wyobrazić sobie następująco. Polifosforany dopływające do komór fermentacyjnych prawie w 100% ulegają hydrolizie do ortofosforanów PO_4^{3-} . Faza wodna fermentującego osadu po biologicznym usuwaniu azotu i fosforu ulega wzbogaceniu w jony ortofosforanowe (PO_4^{3-}) i jony amonowe (NH_4^+). Jeśli w ściekach występuje magnez (Mg^{2+}) o odpowiednim stężeniu, to przy dużych koncentracjach jonów fosforanowych i amonowych następuje wytrącanie, a tym samym krystalizacja struwitu (Konieczny 2003).

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono struwit wytworzony w warunkach laboratoryjnych podczas wstępnych badań w warunkach statycznych w Laboratorium Chemii i Technologii Wody i Ścieków SGGW. Wytrącony struwit stanowi biały osad, zajmujący dolną część zlewki (rys. 1). Uzyskany był przy zmodyfikowanych warunkach tworzenia, to jest przy stosunku molowym $Mg : NH_4 : PO_4$



RYSUNEK 1. Struwit wytworzony w warunkach laboratoryjnych

FIGURE 1. Struvite produced in the laboratory



RYSUNEK 2. Widok na zlewkę z wytworzonym struwitem

FIGURE 2. View of the beaker with the produced struvite

jak 1 : 1 : 1,8. Struwit ten był wytwarzany podczas ciągłego mieszania, co obrazuje mieszadło znajdujące się wewnątrz zlewki (rys. 2). Zdjęcie pokazuje, że struwit tworzy osad dość jednorodny i drobnokrystaliczny.

W warunkach technicznych, czyli w oczyszczalni ścieków, wytrącający się struwit przywiera do podłoża i ścianek, powodując wytwarzanie się warstwy mocno przylegającej do podłoża. Zwiększająca się grubość tej warstwy, wynikająca z wytrącania się kolejnych

porcji struwitu, może w konsekwencji zmniejszać średnicę wewnętrzną rurociągu i utrudniać przepływ odcieków. Na ile potrafi to być gruba warstwa, zostało zobrazowane na rysunkach 3 i 4.



RYSUNEK 3. Widok z boku na struwit wykrystalizowany w rurociągach GOS w Łodzi
FIGURE 3. Side view of the crystallized struvite in pipes of sewage treatment plant in Łódź



RYSUNEK 4. Widok z góry na struwit wykrystalizowany w GOS w Łodzi
FIGURE 4. Top view of the crystallized struvite in sewage treatment plant in Łódź

Pokazany struwit pochodzi z Grupowej Oczyszczalni Ścieków (GOS) w Łodzi i został tu zademonstrowany dzięki uprzejmości Kierownika Oczyszczalni. Struwit ten powstał w rurociągach ułożonych między komorą fermentacyjną a prasą do odwadniania osadów. Barwa

struwitu tworzącego się w oczyszczalniach ścieków nie jest biała, lecz kremowa, szara, a nawet brunatna. Pochodzi ona od osadzających się wraz ze struwitem różnorodnych zanieczyszczeń.

Jak wynika z pomiaru, warstwa, która odłożyła się na ścianie rurociągów linii osadowej, ma ponad 50 mm grubości. Oznacza to, że średnica rurociągu zmniejszyła się o ponad 100 mm. Pokazany na rysunkach 3 i 4 struwit ma ponad 180 mm długości i stanowił jedynie niewielki fragment całości zasklepiającej rurociąg.

Tworzenie się struwitu w oczyszczalniach ścieków

Osadzenie się struwitu w miejskim systemie oczyszczania ścieków zostało po raz pierwszy stwierdzone w połowie XX wieku w Los Angeles podczas prac modernizacyjnych w tamtejszej oczyszczalni (Tabernacki 2002, Gorazda i in. 2004). Struwit wykrystalizował w rurociągach odprowadzających osad przefermentowany, zmniejszając średnicę rurociągu z 300 do 150 mm (Tabernacki 2002). W typowych przypadkach powstający osad powoduje mechaniczne blokowanie wlotów pomp, aeratorów, sit i innych urządzeń, co często prowadzi do konieczności wymiany fragmentów bądź całości rurociągów oraz pozostałych urządzeń. Jest to niewątpliwie problem eksploatacyjny, który może wystąpić praktycznie w każdym punkcie ciągu technologicznego przeróbki osadów ściekowych. W literaturze można znaleźć wiele sugestii, które mogłyby ograniczyć efekt wytrącania się struwitu

i zmniejszyć problemy eksploatacyjne, wynikające z tego faktu. Do nich można zaliczyć (Konieczny 2002, Rzechuła i in. 2006):

- używanie rur z tworzyw sztucznych o małej chropowatości,
- minimalizację liczby połączeń i kolan,
- utrzymanie małej prędkości przepływu w rurociągach, poniżej $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Tabernacki 2002),
- utrzymanie rur i pomp w stanie wolnym od zanieczyszczeń mechanicznych,
- minimalizację wysokości ssania pomp,
- uziemienie obudowy pomp w celu zapobiegania prądom błędzącym.

Wyżej wymienione metody koncentrują się na tworzeniu takich warunków przepływu, aby wyeliminować sprzyjający wzrostowi struwitu ruch turbulentny oraz ograniczyć chropowatość rur, opory miejscowe itp.

Zapobieganie krystalizacji struwitu może również następować na drodze kontroli chemicznej, na przykład poprzez usunięcie z układu jednego z jonów tworzących struwit (np. jonu fosforanowego) poprzez wytrącenie jonami żelaza.

Często spotykaną metodą zwalczania struwitu jest mechaniczne oczyszczanie instalacji. W zależności od twardości kryształów stosuje się płukanie wodą pod wysokim ciśnieniem lub odkuwanie młotkiem. Inną metodą jest rozpuszczanie struwitu roztworami kwasów (siarkowy i solny). Metoda ta jest jednak kosztowna, zwłaszcza w sytuacji, gdy narastanie struwitu jest bardzo intensywne.

Według Koniecznego (2002), procesy krystalizacji struwitu intensyfikują się na powierzchniach chłodzonych, gdzie następuje spadek temperatury osadu. W zakresie temperatury od 0 do 20°C rozpuszczalność struwitu wzrasta, natomiast, gdy temperatura rośnie powyżej 20°C rozpuszczalność ta spada.

Jednak, jak podają Gorazda i inni (2004), temperatura ma mniejszy wpływ na krystalizację struwitu niż odczyn. Wraz ze wzrostem pH rozpuszczalność struwitu maleje, co pociąga za sobą przyspieszone wytrącanie się pod postacią osadu. Przy miejscowym obniżeniu ciśnienia, odgazowaniu osadu lub odcieku zostaje uwolniony CO_2 , co powoduje odkwaszenie roztworu, skutkujące wzrostem pH, i wówczas obserwuje się gwałtowne strącanie struwitu. Według Gorazdy i innych (2004), struwit nie będzie się wytrącał przy $\text{pH} < 7$. Trudno utrzymywać tak niski odczyn w wielu procesach, lecz w miarę możliwości trzeba do tego dążyć, gdyż zmniejszanie wartości odczynu może znacznie ograniczyć krystalizację struwitu. Nie jest to jedyny warunek zabezpieczający przed tworzeniem się tego związku, gdyż zależy to także od innych czynników, m.in. od stosunków molowych między jonami wchodzącymi w jego skład.

W oczyszczalniach tworzenia się struwitu można ograniczać przez zmniejszenie stężenia fosforanów na drodze chemicznej, strącając je za pomocą PIX-u, PAX-u, wapna itp. (Konieczny 2003). Jednak nie zmniejsza to sumarycznej ilości osadów, gdy tworzą się fosforany żelaza lub glinu.

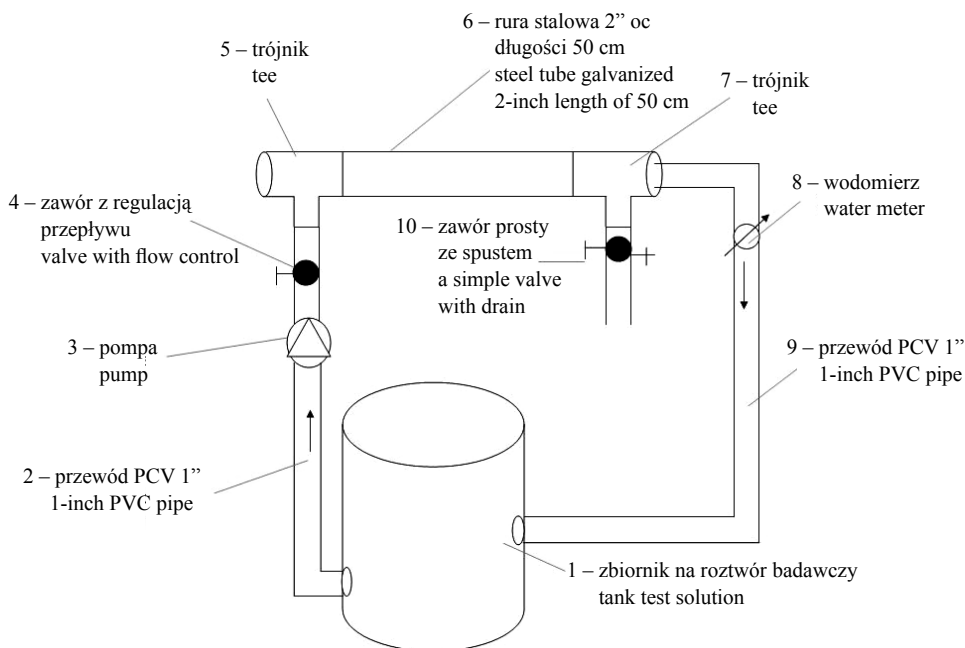
W ostatnim czasie rozpoczęto badania nad metodami pozwalającymi na

ograniczanie powstawania struwitu, polegające na oddziaływaniu pola magnetycznego i elektrycznego (Malej i Majewski 2002, Gorazda i in. 2004).

Równoległe z metodami zwalczania i zapobiegania krystalizacji struwitu rozwijane są metody jego kontrolowanego strącania w celu: odzysku fosforu (Battistoni i in. 2001, Munch i Barr 2001, Takiguchi i in. 2001), usuwania dużych stężeń azotu amonowego z wód nadosadowych (Malej i Majewski 2002, Uludag-Demirer i in. 2005, Ptak i Miksch 2007) i komercyjnego wykorzystania, na przykład jako nawóz (Trzaska i in. 2002, Hutnik i in. 2008). Metody te rozwijane są ze względów ekonomicznych i ekologicznych, bowiem, jak wynika ze składu, struwit stanowi cenne źródło azotu i fosforu.

Schemat stanowiska doświadczalnego

W literaturze wiele miejsca poświęcono procesom kontrolowanego wytrącania struwitu na potrzeby odzysku fosforu i azotu, gdzie proces prowadzony jest przy ściśle określonych stężeniach substratów. W oczyszczalniach ścieków proces ten z reguły zachodzi w sposób niekontrolowany, gdyż występuje bardzo duża zmienność ilości oraz składu dopływających ścieków, dlatego stanowi to poważny problem eksploatacyjny. W laboratorium Zakładu Wodociągów i Kanalizacji SGGW zostało zbudowane stanowisko, którego schemat ideowy został pokazany na rysunku 5, a jego fotografia na rysunku 6. Stanowisko zostało tak zaprojektowane, aby umożliwiło rozpoznanie czynników mających



RYSUNEK 5. Schemat ideowy instalacji doświadczalnej
FIGURE 5. Schematic diagram of experimental installation



RYSUNEK 6. Fotografia instalacji doświadczalnej
 FIGURE 6. Photography of experimental installation

najistotniejszy wpływ na osadzanie się struwitu w rurociągach

Podstawowymi elementami są tu: zbiornik na ścieki syntetyczne o objętości 50 dm^3 (1), przewód PCV $1''$ (2 i 9), pompa cyrkulacyjna (3), zawór z regulacją przepływu (4), trójnik $2''$ (5 i 7), rura stalowa $2''$ długości 500 mm (6), wodomierz (8) oraz zawór prosty ze spustem (10).

Stanowisko badawcze stanowi zamknięty układ, w którym ścieki syntetyczne wytwarzane są na bazie następujących związków: NH_4Cl , MgSO_4 i KH_2PO_4 . Ze zbiornika (1) ścieki są zasysane przewodem (2) przez pompę cyrkulacyjną (3). Na części tłocznej pompy (3) znajduje się zawór regulacyjny (4), którego rolą jest zmienianie natężenia przepływu ścieków. Następnie ścieki płyną przez trójnik (5) do rury stalowej (6), stanowiącej najistotniejszy element badawczy. Po przepłynięciu przez tę rurę ścieki płyną przez trójnik (7) do rury powrotnej (9) wykonanej z PCV. Rurą powrotną ścieki dopływają do zbiornika (1). Natężenie przepływu oraz ilość przetłoczonych ścieków jest mie-

rzona za pomocą wodomierza (8) zainstalowanego na rurociągu powrotnym (9). Do opróżniania rury pomiarowej ze ścieków służy zawór (10) ze spustem zainstalowany na odnodze od trójnika (7).

Metodyka badań

Celem badań było rozpoznanie czynników odgrywających najistotniejszą rolę w procesach spontanicznej krystalizacji struwitu w części osadowej oczyszczalni ścieków. Aby zapewnić powtarzalność badań, ustalono następujący skład ścieków syntetycznych: NH_4Cl (źródło NH_4^+), MgSO_4 (źródło Mg^{2+}) i KH_2PO_4 (źródło PO_4^{3-}) w ilościach gwarantujących stężenie NH_4 na poziomie $528,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, Mg^{2+} – na poziomie $16,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz PO_4^{3-} – na poziomie $159,15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenia jonów NH_4 i PO_4^{3-} zostały ustalone na drodze analizy osadów ściekowych pochodzących z Grupy Oczyszczalni Ścieków w Łodzi, natomiast stężenie jonów Mg^{2+} pozostawiono na poziomie, jaki występuje w wodzie uzdatnionej wypływającej do sieci z Naukowo Badawczej Stacji Uzdatniania Wody SGGW. Przygotowane ścieki syntetyczne o odpowiednich stężeniach zostały wpompowane do zbiornika (1), a następnie została uruchomiona pompa (3). Przygotowany roztwór cyrkulował w obiegu zamkniętym przez trzy doby. Po tym czasie demontowana była część pomiarowa (rura stalowa długości 500 mm) i określana wagowo i wizualnie ilość powstałego struwitu. Ocena wagowa polegała na wyznaczeniu różnicy masy odcinka rury ze struwitem oraz rury czystej (przed rozpoczęciem eksperymentu).

Parametrami zmiennymi niezależnymi były dwie prędkości przepływu przez odcinek badawczy, to jest 0,25 i 0,5 m·s⁻¹ oraz cztery różne odczyny roztworu pH w granicach 7, 8, 9, 10, z uwzględnieniem odchyłek ±0,2. Odczyn w roztworze do badań był korygowany za pomocą roztworu NaOH. Ponieważ pompa pracująca w obiegu zamkniętym nieuchronnie podnosi temperaturę roztworu, mierzono więc ją na początku i na końcu każdego cyklu. Każdy cykl trwał 3 doby.

Wyniki badań

Wyniki badań zostały pokazane w tabelach 1 i 2. Literą P oznaczono początek procesu, co odpowiada chwili przed uruchomieniem pompy, natomiast literą K – wyłączenie pompy i zakończenie danego cyklu.

TABELA 1. Wyniki badań dla prędkości 0,50 m·s⁻¹
TABLE 1. Test results for the velocity of 0.50 m·s⁻¹

Prędkość 0,50 m·s ⁻¹ Velocity	pH	Temperatura [°C] Temperature		Masa struwitu [g] Amount of struvite
		P	K	
		Cykl 1 Cycle 1	7,17	
Cykl 2 Cycle 2	8,08	12,30	29,10	7,30
Cykl 3 Cycle 3	8,98	12,40	29,40	10,85
Cykl 4 Cycle 4	10,06	12,90	28,70	16,00

Objaśnienia/Explanations:

P – początek procesu / beginning of the process,
K – koniec procesu / end of the process.

Jak widać, wzrost odczynu pH bardzo silnie wpływa na tworzenie się struwitu – po wzroście o wartość 1 jego masa zwiększa się w zakresie 30–40%. Również zauważalny jest wpływ prędkości przepływu na efekt wytrącania się tego związku, co obserwuje się szczególnie w zakresach wyższych odczynów. Dla lepszego zobrazowania wyników pomiarów ich położenie pokazano na rysunku 7. Punkty pomiarowe układają się według krzywych drugiego stopnia, opisywanych równaniami:

$$\begin{aligned} \text{masa (0,5 m·s}^{-1}\text{)} &= 0,7042\text{pH}^2 - \\ &- 8,4466\text{pH} + 29,748; \quad R^2 = 0,999 \\ \text{masa (0,25 m·s}^{-1}\text{)} &= 0,2244\text{pH}^2 - \\ &- 0,9077\text{pH} - 0,0396; \quad R^2 = 0,9943 \end{aligned}$$

Obliczona została regresja wielokrotna, pozwalająca na szacowanie przyrostów masy struwitu w funkcji odczynu i prędkości przepływu, której równanie przedstawia się następująco:

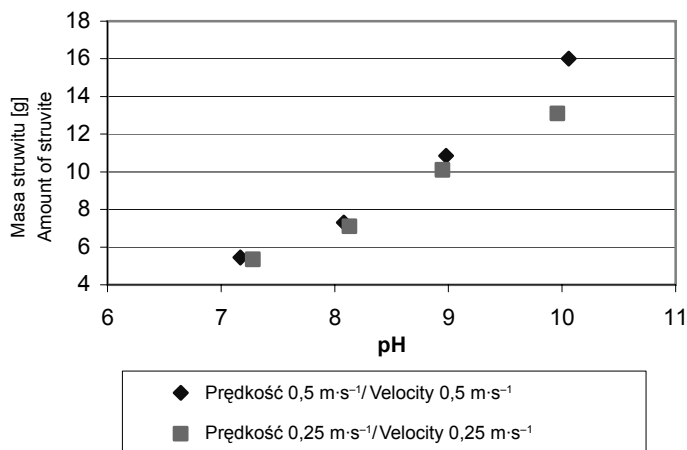
$$\text{masa } \pm 0,81\text{g} = -20,9424 + 3,3616\text{pH} + 4,051\text{V}$$

TABELA 2. Wyniki badań dla prędkości 0,25 m·s⁻¹
TABLE 2. Test results for the velocity of 0.25 m·s⁻¹

Prędkość 0,25 m·s ⁻¹ Velocity	pH	Temperatura [°C] Temperature		Masa struwitu [g] Amount of struvite
		P	K	
		Cykl 1 Cycle 1	7,28	
Cykl 2 Cycle 2	8,13	12,30	29,20	7,10
Cykl 3 Cycle 3	8,95	13,00	28,10	10,10
Cykl 4 Cycle 4	9,96	12,60	28,60	13,10

Objaśnienia/Explanations:

P – początek procesu / beginning of the process,
K – koniec procesu / end of the process.



RYSUNEK 7. Ilość powstającego struwitu w zależności od pH i prędkości
 FIGURE 7. The amount of struvite depending on the pH and velocity

Równanie to należy traktować jako orientacyjne, gdyż do jego skonstruowania wykorzystano niezbyt dużo punktów pomiarowych, jednak do celów orientacyjnych pozwoli oszacować ilość odkładanego struwitu. Należy dodatkowo podkreślić, że przedstawione powyżej funkcje są słuszne jedynie dla zakresu wykonanych badań i w dalszych modyfikowanych i rozszerzonych badaniach będą weryfikowane.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, dla prędkości 0,5 i 0,25 m·s⁻¹ i odczynie pH na poziomie 7 różnica w ilości wytworzonego struwitu jest niewielka i wynosi 0,1 g. Wraz ze wzrostem odczynu pH różnica ta jednak zwiększa się do 2,9 g dla odczynu na poziomie 10.

Podczas badań dokonywano pomiarów temperatury roztworu badawczego, które wykazały, iż wzrasta ona średnio z 12°C na początku cyklu do 29°C na końcu cyklu w każdym z przeprowadzonych cykli. Jest to efekt uboczny pracy pompy, który w niniejszych badaniach nie został wyeliminowany.

Podsumowanie i wnioski

Omawiane badania należy traktować jako początek do bardziej zaawansowanych działań, których celem jest poznanie czynników w sposób istotny wpływających na tworzenie się struwitu. Szczegółowe rozpoznanie pozwoli na sformułowanie zaleceń i działań, które mogą zapobiegać lub częściowo ograniczać krystalizację struwitu w urządzeniach oczyszczalni ścieków. Uzyskane tu wyniki badań wykazują dużą złożoność problematyki dotyczącej tworzenia się tego związku w rurociągach. Ze względów technicznych te wstępne badania zostały ograniczone do prędkości przepływu 0,5 m·s⁻¹, lecz w przyszłości planowane są badania dla szerszego zakresu tego parametru. Niemniej jednak, mimo lakonicznych doniesień, że przy prędkościach poniżej 1,5 m·s⁻¹ (Tabernacki 2002) krystalizacja struwitu jest bardzo ograniczona, wykazano, iż nawet przy prędkości 0,25 m·s⁻¹ powstawał on w mierzalnych ilościach.

Wyniki badań potwierdzają, iż problem krystalizacji struwitu w części osadowej oczyszczalni jest znaczący. Już przy cyklach badawczych trwających 3 doby struwit wykrystalizowany na ściankach odcinków pomiarowych pokrywał znaczną ich część, co ilustruje rysunek 8. Zmniejszająca się średnica rurociągu na skutek przyrostu struwitu w sposób bezpośredni przekłada się na zwiększenie strat hydraulicznych i utrudnioną pracę pomp.



RYSUNEK 8. Fotografia rurociągu po zakończeniu cyklu 3
FIGURE 8. Photography of the pipeline after Cycle 3

Oczekuje się, że rozpoznanie czynników oraz określenie ich istotności przyczyni się do sprecyzowania zaleceń, dotyczących sposobu prowadzenia procesów przeróbki osadów ściekowych, które jeśli nie wyeliminują, to znacząco ograniczą tworzenie się tego związku.

Literatura

- BATTISTONI P., De ANGELIS A., PAVAN P., PRISCIANDARO M., CECCHI F. 2001: Phosphorus removal from real anaerobic supernatant by struvite crystallization. *Water Research* 9 (35): 2167–2178.
- GORAZDA K., WZOREK Z., JODKO M., NOWAK A.K. 2004: Struwit – właściwości fizykochemiczne i zastosowanie. Cz. I. *Chemik. Nauka – Technika – Rynek* 1 (57): 8–13.
- HUTNIK N., WIERZBOWSKA B., MATYNIĄ A. PIOTROWSKI K., GLUZIŃSKA J. 2008: Wpływ jonów glinu na jakość kryształów struwitu wydzielonego w sposób ciągły z roztworów rozcieńczonych. *Chemik. Nauka – Technika – Rynek* 10 (61): 505–508.
- KONIECZNY P. 2002: Struwit. Jak zapobiegać jego powstawaniu? Seminarium Kemipolu, Kopenhaga (<http://www.old.kemipol.com.pl>).
- KONIECZNY P. 2003: Stosowanie PIX-113 w zapobieganiu krystalizacji struwitu. *Przeгляд Komunalny* 4: 64.
- MALEJ J., MAJEWSKI A. 2002: Wybrane problemy oczyszczania wód osadowych. *Rocznik Ochrony Środowiska* 4: 11–48.
- MUNCH E.V., BARR K. 2001: Controlled struvite crystallisation for removing phosphorus from anaerobic digester sidestreams. *Water Research* 1 (35): 151–159.
- PTAK B., MIKSCH K. 2007: Usuwanie wysokich stężeń azotu amonowego z wód nadosadowych metodą strącania chemicznego. Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. z 2006 r., nr 137, poz. 984.
- RZECHUŁA J., CHILIMONIUK M., HUPKA J., ARANOWSKI R., GIELERT M. 2006: Usuwanie struwitu z rurociągów w oczyszczalni ścieków komunalnych. *Ekologia i Technika* 14 (85): 74–76.
- SOCZEK A. 2003: Zastosowanie polimerów w celu eliminacji osadzania struwitu i osadów wapniowych. *Forum Eksploatatora* 1: 10–12.
- TABERNACKI K. 2002: Struwit w miejskich oczyszczalniach ścieków. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 12: 447–449.
- TAKIGUCHI N., KISHINO M., KURODA A., KATO J., OHTAKE H. 2004: A laboratory-scale test of anaerobic digestion and methane

- production after phosphorus recovery from waste activated sludge. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 6 (97): 365–368.
- TRZASKA M., CHMARZYŃSKI A., BUSZEWSKI B. 2002: Struwit – problem biologicznych oczyszczalni ścieków. Mat. konf., 19–20.05.2002, Toruń.
- ULUDAG-DEMIRER S., DEMIRER G.N., CHEN S. 2005: Ammonia removal from anaerobically digested dairy manure by struvite precipitation. *Process Biochemistry* 40: 3667–3674.
- ZYCH B. 2001: Struwit – korzyści czy kłopoty. *Forum Eksploatatora* 10: 9.

Summary

Crystallization of struvite from synthetic wastewater in experimental installation under flow conditions. In this review paper are presented the issue of struvite in

sewage treatment plants and the results of struvite crystallization conditions, depending on the flow velocity and pH. Our results show a high complexity of the issues concerning the formation of struvite in pipes and confirm the fact that the crystallizing of struvite decreases in diameter pipelines. It was also found that with increasing speed and pH increases the amount of produced struvite.

Author's address:

Justyna Czajkowska, Tadeusz Siwiec
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Inżynierii Budowlanej
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
Poland
e-mail: justyna_czajkowska@sggw.pl
tadeusz_siwiec@sggw.pl