

Jurand D. BIEN¹, Beata BIEN¹, Łucja FUKAS-PŁONKA²

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska
ul. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa

² Biuro Ekspertyz i Projektów
ul. Krokusów 9, 41-700 Ruda Śląska
e-mail: jurand@is.pcz.pl

Kierunki rekultywacji lagun osadowych w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim

**Direction of Lagoons Reclamation at Wastewater Treatment Plant
in Tomaszów Mazowiecki**

By the end of the 1980s sewage sludge management at waste water treatment plants in Poland was usually limited to the storage of sludge. For this purpose sludge lagoons were used primarily as storage tanks with the drainage systems. Having developed the technical feasibility of sludge management it was determined that the final disposal of sewage sludge should be carried out outside the wastewater treatment plants. From that point projects of wastewater treatment plants took into account the concept of sludge management, while the existing wastewater treatment plants were modernized so the treatment of sludge enabled them to be efficiently managed. Storage of sludge in lagoons as ineffective and capable to generate emissions of microbial odors and contaminants into the air, or even causing pollution of the soil and water in the event of improper collection, has become limited at the first step and next was eliminated. Many of lagoons have already undergone reclamation. However many still need to do this. The article presents concepts and directions for sludge lagoon rehabilitation at the wastewater treatment plant in Tomaszów Mazowiecki.

Keywords: sludge lagoons, sludge storage, lagoons reclamation

Wprowadzenie

Ostateczne unieszkodliwianie osadów prowadzone w oczyszczalniach ścieków funkcjonujących przed 1990 r. ograniczało się głównie do ich magazynowania na terenie oczyszczalni. Wykorzystywano w tym celu przede wszystkim laguny oraz poletka osadowe. Sytuacja uległa zmianie z początkiem lat 90., kiedy to, w wyniku zmian społeczno-gospodarczych, nastąpił dostęp do technologii zachodnich oraz zaczęto przykładać coraz większą wagę do stanu środowiska naturalnego i jego ochrony. W nowo realizowanych oczyszczalniach ścieków uwzględniano ciąg przeróbki osadów, a modernizowane oczyszczalnie wyposażono w urządzenia gospodarki osadowej. Z uwagi na niebezpieczeństwa związane z magazynowaniem osadów ścieków na terenie oczyszczalni w lagunach czy poletkach osadowych w związku z emisją odorów i zanieczyszczeń mikrobiologicznych do powietrza, możliwym zanieczyszczeniem powierzchni ziemi i wód w przypadku niewłaści-

wego gromadzenia takie działanie uznano za nieodpowiednie i nieprzystające do nowoczesnych rozwiązań chroniących środowisko [1-3]. Pozostały relikwyt tego sposobu zagospodarowania osadów ściekowych - laguny osadowe - wymagał postępowania rekultywacyjnego. Trafność wyboru kierunku rekultywacji jest uzależniona od szeregu czynników, które dotyczą stanu zmagazynowanych osadów oraz charakteryzują teren zarówno w rozumieniu przestrzennym, jak i gospodarczym. Dlatego analiza tych czynników jest niezwykle istotna w procesie tworzenia koncepcji, później projektu technicznego, a następnie docelowego zagospodarowania. Na przestrzeni ostatnich lat w polskich oczyszczalniach ścieków przeprowadzono szereg działań zmierzających do rekultywacji istniejących lagun osadowych [4, 5]. Każdy taki przykład wymagał indywidualnego podejścia. Nie inaczej jest także i w przypadku omówionym w niniejszej publikacji. Autorzy publikacji podjęli się zadania opracowania koncepcji zagospodarowania lagun osadowych w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim. Laguny osadowe zlokalizowane na terenie Zakładu Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej Sp. z o.o. zostały wybudowane w latach 60. XX w. na tarasie zalewowym prawego brzegu rzeki Pilicy oraz jej dopływu - rzeki Wolbórki - we wschodniej części terenu oczyszczalni. Eksploatacja lagun rozpoczęła się w 1969 roku wraz z uruchomieniem oczyszczalni mechanicznej Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom”. W tym okresie służyły one do wielogodzinnej sedymentacji ścieków chemicznych neutralizowanych mlekiem wapiennym. Kierowane na laguny ścieki zawierały charakterystyczne dla produkcji zakładu związki chemiczne, w tym: siarczany, cynk, dwusiarczek węgla oraz celulozę. Od 1983 roku po uruchomieniu oczyszczalni chemiczno-biologicznej ZWCh „Wistom” do lagun osadowych kierowane były uwodnione osady, pochodzące z chemicznego oczyszczania ścieków, oraz osady nadmierne, pochodzące z biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych. W tym okresie przepływ ścieków wynosił ok. 70 000 m³/d. Po likwidacji ZWCh „Wistom” w 1997 r. ilość ścieków dopływających do oczyszczalni gwałtownie spadła do poziomu 10 000÷12 000 m³/d i są to obecnie ścieki komunalne. Zmiana ilości i jakości ścieków dopływającej na oczyszczalnię, w szczególności wyeliminowanie ścieków przemysłowych, likwidacja oczyszczania chemicznego wpłynęły na zmianę ilości i jakości osadów gromadzonych na lagunach.

1. Charakterystyka lagun osadowych

Dwie laguny osadowe początkowo wykonane zostały w formie ziemnych zbiorników z utwardzonymi groblami wyniesionymi ok. 5 m nad poziomem otaczającego je terenu. W historii eksploatacji lagun wały były podwyższane trzykrotnie. Po ostatniej przebudowie wysokość wałów lagun sięgała 6-7 m. Na podstawie badań stwierdzono, że teren na obszarze lagun jest na ogół płasko ukształtowany na rzędnej 152,00-153,00 m n.p.m. Obszar ten do głębokości kilkunastu metrów zbudowany jest z utworów czwartorzędowych. Są to głównie osady rzeczno-zastoiskowe, różnoziarniste piaski, żwiry i pospółki, w głębszych partiach z okruchami wapienia, w stropie torfy, namuły organiczne oraz piaski z częściami organicznymi.

Lokalizację lagun przedstawiono na rysunku 1. Całkowita powierzchnia lagun wynosi ok. 16,1 ha.



Rys. 1. Lokalizacja lagun na terenie oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim
Fig. 1. Location of lagoons at WWTP Tomaszow Mazowiecki

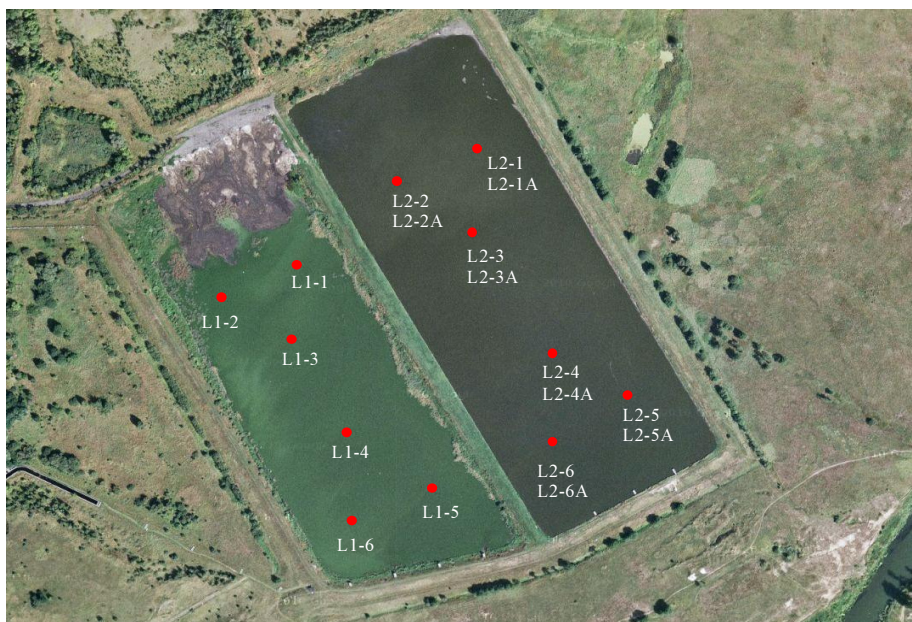


Rys. 2. Widok na kolektor tłoczący osady na lagunę nr 2 (wrzesień 2014 r.)
Fig. 2. View on the sludge pumping collector to lagoon No 2 (September 2014)

Od 1993 r. laguna oznaczona na rysunku 1 jako „Laguna 1” nie jest eksploatowana. Z kolei laguna 2, w trakcie opracowywania koncepcji, stanowiła funkcjonujący element ciągu osadowego komunalnej oczyszczalni ścieków. Awaryjnie była wykorzystywana do zrzutu osadów poprzez punktowy zrzut stanowiący fragment rurociągu (rys. 2). Oszacowano, że łączna ilość zdeponowanego osadu w obu lagunach kształtuje się na poziomie ok. 853 000 m³.

2. Charakterystyka osadów zgromadzonych w lagunach

Właściwości zgromadzonych osadów ściekowych są jednym z elementów, które należy brać pod uwagę przy opracowaniu kierunku rekultywacji. W tym celu dla określenia właściwości fizykochemicznych osadów ściekowych zalegających w lagunach pobrano ich próbki. Miejsca poboru próbek z opisem przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Lokalizacja poboru próbek osadów z lagun

Fig. 3. Location of sludge sampling

W przypadku laguny nr 1 próbki pobierano jednokrotnie z głębokości 1,0÷2,5 m poniżej wód nadosadowych. Wysokość warstwy wody nadosadowej w lagunie nr 1 wahała się od 1,30 m (od strony oczyszczalni) do 3,10÷3,30 m (od strony rzeki Pilicy). W przypadku laguny nr 2 osady pobierano profilowo z dwóch głębokości 1,0÷1,5 m oraz 2,5÷3,0 m poniżej wód nadosadowych. W tej lagunie wysokość warstwy wód nadosadowych wynosiła od 0,2 do 1,0 m. Dokonując analizy wyników badań, stwierdzono, że stężenie suchej masy w osadzie zdeponowanym w la-

gunie było zmienne. Najniższe, poniżej 5%, odnotowano na granicy warstwy osadu i wody nadosadowej. Osad o takim stężeniu posiada konsystencję płynną. W przekroju pionowym wraz z zagłębieniem w bryle osadu stężenie suchej masy wzrastało od 18,6 do 31,5% dla laguny nr 1 i od 15,3 do 29,3% dla laguny nr 2. Osady o stężeniu suchej masy powyżej 15% posiadają konsystencję mazistą - półpłynną. Po przekroczeniu stężenia suchej masy 20% zmienia się konsystencja osadu na mazistą - zwartą. Osady z laguny nr 1 (nieczynnej) charakteryzowały się wysokim stopniem mineralizacji - udział substancji mineralnych w suchej masie osadu wynosił 63% dla warstwy wierzchniej i do 78% dla osadu pobranego głębiej. W lagunie nr 2 wyraźnie stwierdzono wpływ napływu świeżego osadu z komunalnej oczyszczalni ścieków. W próbie osadu pobranej przy wylocie rurociągu tłocznego bezpośrednio pod wodą nadosadową udział substancji mineralnych w suchej masie osadu wynosił 42%. W próbkach osadu pobranych na głębokości od 1,5 do 3,0 m poniżej warstwy wody nadosadowej udział substancji mineralnych w suchej masie osadu wynosi do 78,2%, co świadczyło o wyraźnym jego zmineralizowaniu. W celu opracowania projektu procesowego utylizacji osadów z lagun na oczyszczalni przeprowadzono testy filtracji dla osadów płynnych. Za pomocą opracowanych testów odwadniania sprawdzano polielektrolity pod względem ich przydatności do kondycjonowania i odwadniania osadów. Stwierdzono, że osady z lagun nr 1 i 2 charakteryzowały się dobrymi właściwościami filtracyjnymi. Koncentracja suchej masy w osadzie mechanicznie odwodnionym z laguny nr 2 w procesie filtracji ciśnieniowej wynosiła 41÷43%. Natomiast stężenie suchej masy w osadzie mechanicznie odwodnionym z laguny nr 1 wynosiło 37÷35%. Osad posiadał konsystencję mokrej zbitej ziemi.

Dokonano także badań określających zawartość metali ciężkich w pobranych próbach osadów z lagun, a następnie porównano je z dopuszczalnymi wartościami metali ciężkich w osadach określonych w rozporządzeniu w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Stwierdzono, że głównym elementem limitującym potencjalne przyrodnicze zagospodarowanie osadów jest cynk, którego koncentracja wielokrotnie przekracza dopuszczalne limity. Przekroczenia odnotowane zostały także dla ołowiu (Pb) oraz kadmu (Cd), w szczególności w przypadku osadów pochodzących z laguny nr 1. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że osady z lagun nie mogą być stosowane w żadnej z przyrodniczych metod stosowania komunalnych osadów ściekowych. Również pod względem właściwości energetycznych sytuacja nie przedstawiała się dobrze. Bardzo niska wartość opałowa, co prawda nie przekreślała możliwości ich termicznej utylizacji, lecz byłoby to spalanie czysto utylizacyjne z koniecznością stosowania dodatkowego paliwa.

Przeprowadzono także badania wód nadosadowych. Tu także stwierdzono, że wszystkie wskaźniki zanieczyszczeń przekraczają dopuszczalne stężenia określone w rozporządzeniu w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Wód nadosadowych nie można w sposób bezpośredni odprowadzić do odbiornika, wymagają wcześniejszego pełnego biologicznego oczyszczenia.

3. Rozpatrywane kierunki rekultywacji lagun osadowych

Przeprowadzone badania dostarczyły szeregu cennych informacji oraz pozwoliły na wyróżnienie kilku potencjalnych kierunków, w jakich można prowadzić rekultywację lagun osadowych. Koncepcję ostatecznego zagospodarowania lagun osadowych znajdujących się na terenie Zakładu Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej Sp. z o.o. w Tomaszowie Mazowieckim zdecydowano się przedstawić w ujęciu wariantowym, w którym wyróżniono:

- a) zachowanie stanu istniejącego lagun przy uwzględnieniu braku dopływu osadów i naturalnych procesów samooczyszczania, sukcesji roślinności,
- b) usunięcie osadów z lagun z uwzględnieniem termicznego przekształcenia osadów poprzez wydobycie osadu z laguny, odwodnienie, suszenie i spalanie,
- c) osuszenie lagun z pozostawieniem osadów i ich rekultywacją,
- d) pozostawienie osadów w lagunie, utwardzenie powierzchni osadów, cementację osadów z wykorzystaniem spoiwa hydraulicznego z docelowym kierunkiem uprawy energetycznej na powierzchni lagun.

Ad a) Podstawowym założeniem w tym wariantcie było zachowanie bezpiecznego dla środowiska stanu istniejącego lagun opartego o fitoremediację. W tym celu wymagane jest usunięcie wody nadosadowej i odwodnienie górnej warstwy zdeponowanych osadów. Przeprowadzono obliczenia ilości wód nadosadowych oraz określono szacunkowy ładunek zanieczyszczeń niesiony wraz z wodami nadosadowymi, który należałoby uwzględnić w bilansie oczyszczalni. Rzeczywistą ilość wód nadosadowych możliwą do odprowadzenia na oczyszczalnię ścieków należałoby korygować na bieżąco, uwzględniając zdolność redukcji związków azotowych na oczyszczalni. Następnie należało uwzględnić konieczność usunięcia warstwy osadu płynnego o stężeniu suchej masy z zakresu 1,5÷8%. Szacunkowa wysokość warstwy osadu przeznaczonego do odwodnienia na mobilnej instalacji została określona na 0,6 m. W celu zabezpieczenia terenu lagun przed napływem wód opadowych, roztopowych i gruntowych należało uwzględnić po zewnętrznej stronie wałów lagun rowy odwadniające. Odwodnione osady ściekowe obfitują w substancję organiczną i mineralne składniki pokarmowe przy dużej pojemności wodnej. Stanowią zatem złoża o dużej dynamice przemian biochemicznych oraz o dużych możliwościach intensywnego wzrostu gatunkowej konkurencyjności samosiewnych roślin. Do takich roślin zalicza się między innymi: trzcinę pospolitą, mozgę trzcinową, trawy łąkowe wysokie i rośliny dwuliścienne, wierzby. W celu zintensyfikowania parowania wody do atmosfery zaproponowano wysianie lagun mieszaniną traw łąkowych, które posiadają dobrze rozwinięty i gęsty system korzeniowy. Proponowana mieszanina uwzględniała następujące gatunki: mozga trzcinowata, życica trwała, kostrzewa trzcinowa, kostrzewa łąkowa, kupkówka pospolita, wiechlina łąkowa oraz kostrzewa czerwona. Dynamiczny rozwój roślin (samosiewnych i wysianych) spowoduje szybkie przekształcenie lagun o charakterze moczarowym w łąkopodobny krajobraz. W ten sposób laguny, do których nie będą odprowadzane płynne, świeże osady, zostaną odwodnione i pokryte wielogatunkową szatą traw, roślin dwuliściennych, krzewów i drzew.

Ad b) W świetle ograniczeń związanych z przyrodniczym, w tym rolniczym zagospodarowaniem komunalnych osadów ściekowych, wynikających z przepisów prawnych oraz brakiem potencjalnych obszarów do ewentualnego ich zastosowania w obszarze tzw. opłacalnego transportu, uwzględniono w koncepcji możliwość termicznego przekształcenia osadów ściekowych. Suszenie osadów ściekowych nie jest metodą ostatecznego ich zagospodarowania. Z kolei spalanie lub współspalanie osadów ściekowych stanowi z mocy prawa proces termicznego przekształcenia odpadów, a instalacja, w której odbywa się ten proces, z definicji staje się spalarnią lub współspalarnią odpadów. Proces współspalania osadów praktycznie realizowany jest jedynie w przemyśle cementowym, a osady ściekowe dopuszczone do procesu powinny charakteryzować się odpowiednimi właściwościami fizyczno-chemicznymi. Ważna jest również postać osadów określona jako granulaty lub pył. Z najbliższej Tomaszowa Mazowieckiego zlokalizowanych cementowni wymienić można cementownię Warta z siedzibą w Działoszynie oraz Zakład Cementowy z grupy Cemex znajdujący się w Rudnikach koło Częstochowy. W wyniku wstępnego porozumienia Cemex zadeklarował gotowość przyjęcia osadów ściekowych o zawartości co najmniej 90% s.m. Zatem aby osad dostarczyć do cementowni, wymagane jest przeprowadzenie czynności polegających na usunięciu wód nadosadowych, odwodnieniu i wysuszeniu osadów. Po rozpoznaniu składu chemicznego, z uwagi na wysokie zawartości cynku oraz chromu w osadach ściekowych z lagun, kierunek współspalania w cementowni został zawieszony, co na etapie koncepcji było konsultowane z cementownią z grupy Cemex w Rudnikach. Uwzględnienie osadów jako dodatku do formułowania paliw alternatywnych również należało uznać za problematyczne rozwiązanie. Parametry techniczne „osadopaliwa”, takie jak wartość opałowa dla pobranych próbek osadów z lagun, były niskie. Średnia wartość opałowa dla osadów kształtowała się zdecydowanie poniżej 6 MJ/kg s.m., która to wartość uznawana jest za minimum dla autotermicznego spalania. Ze względów technicznych, organizacyjnych i legislacyjnych współspalanie w energetyce zawodowej także należało uznać praktycznie za niemożliwe. Pozostawała jedynie opcja termicznego unieszkodliwiania w procesie spalania w spalarni osadów ściekowych. Trudność w takim rozwiązaniu stanowią jednak wolne moce przerobowe istniejących spalarni. Najbliższe zlokalizowana spalarnia osadów ściekowych znajduje się w Łodzi. Niestety nie dysponuje wolnymi mocami przerobowymi do przyjęcia osadów z zewnątrz. Zasada bliskości określona w art. 20 Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. jest spełniona, więc z prawnego punktu widzenia taka sytuacja mogłaby mieć miejsce.

Ad c) Szeroko stosowaną metodą wykorzystywaną do zagospodarowania lagun jest pozostawienie osadów i poddanie laguny rekultywacji. Taki wariant został również przewidziany w koncepcji. Podejście to wymaga usunięcia wód nadosadowych oraz odwodnienia osadu mazistego. Następnie przewidziane zostały następujące czynności, podane w kolejności chronologicznej:

- wykarczowanie samosiejek porastających teren lagun i ich usunięcie,
- wybudowanie dróg wewnętrznych - technologicznych,

- wzmocnienie podstawy obwałowań lagun przez usypanie od zewnątrz pasa ziemnego z gruntów gliniastych,
- wzmocnienie obwałowań lagun przez wbudowanie od wewnątrz pasa ochronnego z gruntu gliniastego, podwyższonego na czas budowy o 0,2÷0,3 m ponad koronę istniejącego obwałowania,
- ukształtowanie istniejących lagun w regularną bryłę składowiska osadów ściekowych w formie lekko wyniesionego pagórka i nadaniu spadków skarp w celu umożliwienia swobodnego spływu wód opadowych i roztopowych z jego powierzchni wraz z odprowadzaniem wody nadosadowej przed i w trakcie prowadzenia robót,
- ujęciu resztek biogazu powstającego z fermentacji zdeponowanych osadów ściekowych, oczyszczeniu go (dezodoryzacji) na biofiltrze i bezpiecznym odprowadzeniu do atmosfery,
- uszczelnieniu powierzchni bryły składowiska przez przykrycie jej przesłoną filtracyjną w celu zapobieżenia przenikania do wnętrza wód opadowych i roztopowych, a tym samym powstawaniu wód odciekowych i migrowaniu ich do środowiska,
- wybudowanie drogi dojazdowej na wierzchowinę składowiska osadów,
- ujęciu wód opadowych i roztopowych spływających z uszczelnionej powierzchni składowiska i odprowadzeniu ich do kanalizacji ogólnospławnej na terenie oczyszczalni ścieków,
- zagospodarowanie (zazielenienie) powierzchni lagun po zakończeniu prac rekultywacyjnych,
- wykonanie reperów kontrolnych.

Teren lagun przyjęto ukształtować w formę lekko wyniesionego pagórka składowiska osadów. Kształtowanie bryły założono za pomocą ziemi beżużytecznej, dowożonej z zewnątrz. Oszacowano, że na prace ziemne związane ze wzmocnieniem obwałowań oraz kształtowaniem bryły składowiska potrzeba około 300 000 m³ ziemi, przy czym w ilości zawarta została objętość gruntu gliniastego z przeznaczeniem do wzmocnienia obwałowań od wewnątrz. Ukształtowaną bryłę składowiska osadów przyjęto uszczelnić i przykryć następującymi warstwami rekultywacyjnymi, licząc od dołu:

- 30-centymetrowa warstwa drenażu odgazowującego,
- przesłona filtracyjna z geomembrany gładkiej z PEHD, zakotwiona w obwałowaniu zewnętrznym lagun,
- 40-centymetrowa warstwa ziemi glebotwórczej,
- 10-centymetrowa warstwa humusu lub gruntu piaszczystego wymieszanego z odwodnionymi mechanicznie i ustabilizowanymi osadami ściekowymi w stosunku 3:1.

W celu umożliwienia swobodnego i bezpiecznego spływu wód opadowych z powierzchni lagun do rowów opaskowych przyskarpowych na obrzeżu korony obwałowań uwzględniono zabezpieczenie przed rozmywaniem warstw rekultywacyjnych. Po ułożeniu wierzchnich warstw rekultywacyjnych (warstwy glebotwór-

czej i warstwy humusu) w okresie wegetacyjnym zalecono przeprowadzić obsiew przygotowanej powierzchni składowiska mieszanką traw i roślin motylkowych. Po przeprowadzonej rekultywacji składowisko będzie wymagać monitoringu zgodnie z zasadami określonymi w sprawie składowisk odpadów.

Ad d) Ostatnim z zaproponowanych rozwiązań była cementacja osadów z wykorzystaniem spoiwa hydraulicznego z docelowym kierunkiem uprawy energetycznej. Tak jak w poprzednich przypadkach, realizację tego wariantu należałoby rozpocząć od usunięcia wód nadosadowych oraz odwodnienia osadu mazistego. Dopiero wówczas osady można poddać procesowi cementacji. Dla oszacowania, jak zachowywać się będą osady z lagun w tym procesie, poddano je badaniom poprzez wstępne mechaniczne odwodnienie, a następnie zestalenie z wykorzystaniem spoiwa hydraulicznego. Do zestalania osadów zaproponowano cement portlandzki klasy CEMV o wysokiej wytrzymałości wczesnej. Zastosowano dawki cementu w ilościach wagowych 10% suchej masy osadu. W drugiej serii wykorzystano jako materiał zestalający cement i popioły „powistomowskie” w dawce po 5% suchej masy każdy. Po wymieszaniu osadu z materiałem zestalającym mieszaniny granulowano lub formowano w kształcie walca w celu oznaczenia wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach. Najlepsze efekty obniżenia uwodnienia uzyskano dla cementu portlandzkiego klasy CEMV. Zestalenie osadów zmieniło ich konsystencję od plastycznej do stałej - kruchej, co pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Konsystencja osadów w wyniku prób zestalania za pomocą cementu oraz mieszanki cement-popiół „powistomowski”

Fig. 4. Sludge as a result of solidification process with cement and the mixture of cement and ash

Przeprowadzone testy na ściskanie dowiodły, że osady zestalone z powodzeniem nadają się do celów rekultywacji lagun osadowych. W celu sprawdzenia stabilności próbek po zestaleniu wykonano badania wodochłonności w czasie 24-godzinnego kontaktu z wodą destylowaną. Stwierdzono, że po 24 godzinach kontaktu z wodą następowało pochłanianie wody, a tym samym i zwiększenie uwodnienia próbek zestalonych. Osady zestalone miały zdolność do ponownego pochłaniania wody.

Uwodnienie to jednak było znacząco niższe od uwodnienia początkowego i porównywalne z wodochłonnością drobnoziarnistego piasku. Z przebadanych materiałów zestalających najlepsze parametry techniczne otrzymano dla cementu przy dawce 10% suchej masy osadu. Uzyskana mieszanina osadowo-cementowa w warunkach powietrznych ulegała wysuszeniu w ciągu 6 dni do stężenia suchej masy wynoszącej 70%. Ciężar właściwy wysuszonej mieszaniny osadowo-cementowej wynosił $2,3 \text{ g/cm}^3$, co odpowiada w przybliżeniu ciężarowi właściwemu piasku ($2,65 \text{ g/cm}^3$). Tak uzyskany materiał posiadał wytrzymałość na ściskanie powyżej 0,88 MPa, był bezpieczny sanitarnie, co pozwalało myśleć o wykorzystaniu go do rekultywacji lagun. W tym celu zaproponowano instalację do cementowania wydobytych z lagun osadów wraz z placem dojrzewania zabezpieczonym przed wpływem warunków atmosferycznych. Następnie na tak przygotowanym podłożu zaproponowano uprawę energetyczną z wykorzystaniem hybrydy topoli - *Populus tremula x Populus tremuloides*. Gatunek ten został wybrany nieprzypadkowo, gdyż topola ta należy do najszybciej rosnących drzew w naszym klimacie. Ponadto wspomniana hybryda zalicza się do drzew mocno odpornych na różne czynniki patogenne, szybko adaptując się do warunków środowiskowych o szerokim spektrum zastosowania. Uzyskane w wyniku plantacji drewno topoli może znaleźć szerokie zastosowanie w przemyśle.

Podsumowanie

Na terenie należącym do Zakładu Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej w Tomaszowie Mazowieckim Sp. z o.o. zlokalizowano dwie laguny osadowe. Przez wiele lat stanowiły one element ciągu osadowego funkcjonującego na oczyszczalni. Z uwagi na wieloletnie funkcjonowanie zakładu chemicznego „Wistom”, skąd ścieki trafiały na laguny, charakterystyka chemiczna zgromadzonych osadów wskazała na ponadnormatywne występowanie w nich metali ciężkich, w tym przede wszystkim cynku, kadmu oraz ołowiu. Jedna z lagun była wykorzystywana jako awaryjne miejsce odprowadzenia osadu z oczyszczalni, druga od 1993 r. nie jest eksploatowana. W celu wyeliminowania potencjalnych negatywnych skutków poprzez niekontrolowane przedostanie się zawartości lagun do środowiska rzeki Pilicy, co mogło nastąpić wskutek nieprzewidzianych działań czynników zewnętrznych, podjęto działania zmierzające do opracowania koncepcji rekultywacji lagun osadowych. Opracowano szereg alternatywnych rozwiązań, w tym:

- a) zachowanie stanu istniejącego lagun przy uwzględnieniu braku dopływu osadów i naturalnych procesów samooczyszczania, sukcesji roślinności,
- b) usunięcie osadów z lagun z uwzględnieniem termicznego przekształcenia osadów poprzez wydobycie osadu z lagun, odwodnienie, suszenie i spalanie,
- c) osuszenie lagun z pozostawieniem osadów i ich rekultywacją,
- d) pozostawienie osadów w lagunie, utwardzenie powierzchni osadów, cementację osadów z wykorzystaniem spoiwa hydraulicznego z docelowym kierunkiem uprawy energetycznej na powierzchni lagun.

Każdy z zaproponowanych wariantów, mimo różnego w efekcie końcowym rozwiązania, opiera się częściowo na powtarzalnych działaniach, stanowiąc interesujące studium rozważań w zakresie form postępowania z pozostałościami niefortunnej gospodarki osadowej, która w większości oczyszczalni ścieków funkcjonujących jeszcze w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku ograniczała się do magazynowania osadów ściekowych w lagunach lub poletkach osadowych. Wiele z takich obiektów zostało poddanych już rekultywacji. Jednak wciąż istnieją takie, które wymagają przeprowadzenia takiej czynności. W ocenie autorów dla omawianego przypadku wybranie metody cementacji osadów z wykorzystaniem spoiwa hydraulicznego z docelowym kierunkiem uprawy energetycznej stanowi najlepsze rozwiązanie z punktu środowiskowego przy uwzględnieniu racjonalności kosztowej przedsięwzięcia.

Literatura

- [1] Forstner U., Metal releases from toxic wastes and their impact on ground and surface waters, Watershed 1989, 89, 87-106.
- [2] Zhang X.L., Yan S., Tyagi R.D., Surampalli R.Y., Odor control in lagoons, Journal of Environmental Management 2013, 124, 62-71.
- [3] Lewkowska P., Cieślak B., Dymerski T., Konieczka P., Namieśnik J., Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques, Environmental Research 2016, 151, 573-586.
- [4] Siuta J., Rekultywacja terenu lagun osadowych w Oczyszczalni Ścieków „Hajdów”, Inżynieria Ekologiczna 2004, 9, 43-66.
- [5] http://wodociagi.krakow.pl/admin/files/Files/nasze_publicacje/foldery/broszura_plaszow.pdf

¹ Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment
J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa

² Office of Expertise and Design
Krokusów 9, 41-700 Ruda Śląska
e-mail: jurand@is.pcz.pl

Streszczenie

Jeszcze pod koniec lat osiemdziesiątych XX w. gospodarka osadowa prowadzona w oczyszczalniach ścieków w Polsce ograniczała się zazwyczaj do magazynowania osadów ściekowych na jej terenie. W tym celu wykorzystywano przede wszystkim laguny osadowe, które stanowiły pojemne zbiorniki ze stosowanym systemem drenażu. Po rozwinięciu możliwości technicznych realizacji gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków określono, że końcowe zagospodarowanie osadów ściekowych powinno odbywać się poza obszarem oczyszczalni ścieków. Realizowane projekty oczyszczalni ścieków uwzględniały koncepcje gospodarki osadowej, z kolei istniejące oczyszczalnie modernizowano tak, by przeróbka osadów ściekowych umożliwiała ich efektywne zagospodarowanie. Magazynowanie osadów na terenie oczyszczalni w lagunach czy poletkach osadowych, jako mało efektywne, a mogące być źródłem emisji odorów i zanieczyszczeń mikrobiologicznych do powietrza, czy też powodować zanieczyszczenia powierzchni ziemi i wód w przypadku niewłaściwego gromadzenia, zostało ograniczone z docelowym wyeliminowaniem. Wiele z takich obiektów zostało poddanych już rekultywacji, wiele wciąż wymaga przeprowadzenia takiej czynności. Niniejszy artykuł przedstawia koncepcję oraz wyznaczone kierunki rekultywacji lagun osadowych w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim.

Słowa kluczowe: laguny osadowe, magazynowanie osadów, rekultywacja