

Izabela Bartkowska
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45 E
15-351 Białystok

Białystok, dn. 29.05.2014 r.

Autoreferat

- 1. Imię i nazwisko: Izabela Bartkowska**

- 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania:**
 - mgr inż. inżynierii środowiska, specjalność urządzenia sanitarne, Instytut Budownictwa Lądowego, Politechnika Białostocka, 1983.
 - doktor nauk technicznych, w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, 1994. Rozprawa doktorska pod tytułem „Prognozowanie zanieczyszczeń spływów opadowych ze zlewni zurbanizowanych”, promotor - prof. dr hab. inż. Andrzej Królikowski, Politechnika Białostocka.

- 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych:**
 - 1.10.1983 – 30.09.1984 – asystent stażysta, Instytut Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej,
 - 1.01.1984 – 30.09.1994 – asystent, Instytut Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej,
 - 1.10.1994 - do chwili obecnej – adiunkt na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej.

- 4. Wskazanie osiągnięcia, wynikającego z art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):**

A. autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

Osiągnięciem habilitacyjnym, określonym zgodnie z obowiązującą „Ustawą o stopniach naukowych...art.16 ust. 2” jest dzieło opublikowane w całości w postaci monografii habilitacyjnej:

Izabela Bartkowska, *Możliwości wykorzystania wybranych parametrów technologicznych w ocenie kinetyki procesu autotermicznej termofilnej stabilizacji osadów ściekowych*, 2013, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, *Rozprawy Naukowe* nr 254.

B. omówienie celu naukowego/artystycznego w/w. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z wynikającymi z nich wnioskami

Każdemu procesowi oczyszczania ścieków towarzyszy powstawanie odpadów. W zależności od realizowanych procesów i wielkości oczyszczalni ścieków mogą być generowane osady wstępne, nadmierne, po chemicznym strącaniu oraz z dawkowania zewnętrznego źródła węgla organicznego, niezbędnego do realizacji procesów technologicznych związanych z usuwaniem związków azotu (denitryfikacja). Nie możemy zapobiec ich powstawaniu jak również ograniczyć ich ilości, przy stale rosnących wymaganiach dotyczących jakości ścieków oczyszczonych. Pozostaje zatem problem ich zagospodarowania czy też ostatecznego unieszkodliwiania.

Główne kierunki unieszkodliwiania osadów ściekowych polegają na zmniejszeniu jego zagniwalności, eliminacji organizmów chorobotwórczych, zmniejszeniu objętości i masy organicznej osadów, wywozie z terenu oczyszczalni do miejsca ich ostatecznego wykorzystania. Proces przeróbki osadów musi być bezpieczny dla obsługi oczyszczalni i dla otaczającego środowiska. Względy ekologiczne przemawiają za tym, by osady, o ile to możliwe, powracały przetworzone do środowiska naturalnego, dostarczając glebie materię organiczną i składniki pokarmowe roślinom. Taki właśnie niekonwencjonalny nawóz uzyskujemy w wyniku procesu autotermicznej termofilnej stabilizacji (ATSO).

Technologia stabilizacji w warunkach termofilnych jest jeszcze w kraju ciągle mało znana, mimo że została rozwinięta przez Huberta L. Fuchsa już w latach 70-tych. Wówczas powstała pierwsza instalacja na terenie Niemiec w Vilsbiburgu, która działa do dnia dzisiejszego. Poza Europą Zachodnią tego typu instalacje pracują w USA, Kanadzie i Japonii. Istotną rolę w procesie termofilnej stabilizacji odgrywają mikroorganizmy, dzięki którym możliwy jest rozkład związków organicznych zawartych w osadach ściekowych. Przebiega on zasadniczo w dwóch etapach. Hydroliza złożonych związków organicznych (białek,

węglowodanów i tłuszczu) jak również liza komórek obumierających mikroorganizmów następują w pierwszym etapie. Zjawiska te przebiegają dzięki udziałowi enzymów zewnątrzkomórkowych, wytwarzanych przez bakterie termofilne. W drugim etapie następuje utlenianie przez mikroorganizmy termofilne, rozpuszczonych w wodzie produktów hydrolizy do niskoenergetycznych związków. Reakcjom tym towarzyszy wydzielanie się ciepła, a substancjami końcowymi tych przemian są CO_2 , H_2O i NH_3 . Doprowadzając substraty o odpowiednim zagęszczeniu, przy dopływie dostatecznych ilości tlenu, w termicznie izolowanych zbiornikach, można uzyskać samorzutne ogrzanie się osadu do temperatury $55\div 80^\circ\text{C}$.

Termofilna populacja mikroorganizmów zastępując organizmy surowego osadu, doprowadzanego do procesu, powoduje jego intensywne pienienie. Jest to dość jednorodna mikroflora, która w ponad 95% składa się z bakterii *Bacillus*, *Thermus* lub *Actinomyces*. Większość szczepów należy do gatunku *Bacillus stearothermophilus*, które są aktywne w zakresie temperatury $40\div 80^\circ\text{C}$. Pozostałą mikroflorę stanowią termo tolerancyjne bakterie mezofilne oraz ekstremalnie termofilne, między innymi rodzaj *Thermus*. Zazwyczaj charakteryzują się one zdolnością do szybkiego rozmnażania się i równie gwałtownie przebiega obumieranie komórek termofilnych z równocześnie zachodzącym procesem autolizy. W ich rozwoju nie obserwuje się typowej fazy endogenego oddychania. Natomiast bardzo aktywnie produkowane przez nie zewnątrzkomórkowe termostabilne enzymy hydrolityczne są zdolne do szybkiego i efektywnego przeprowadzania hydrolizy białek, tłuszczów, węglowodanów oraz innych związków organicznych jak również do lizy obumarłych komórek wielu mikroorganizmów (np. bakterii chorobotwórczych, drożdży czy jaj pasożytów jelitowych). Kwasy tłuszczowe, pochodzące z produktów hydrolizy, są podstawowym źródłem węgla i energii dla bakterii termofilnych, natomiast aminokwasy stanowią ich główne źródło azotu. Bakterie te charakteryzują się ponadto dużą wytrzymałością na działanie produktów przemiany materii oraz zdolnością przystosowywania się do małych ilości tlenu. Bardzo szybki wzrost liczby bakterii termofilnych, bez konieczności zaszczepiania osadów właściwą mikroflorą, szybka biodegradacja substratu, mała wrażliwość na wahania temperatury i odporność na okresowe przerwy w napowietrzaniu układu, gwarantują, nawet w sytuacjach awaryjnych, niezwykle stabilny i elastyczny system biologiczny w środowisku termofilnej stabilizacji.

Proces termofilnej stabilizacji najczęściej prowadzi się w zbiornikach połączonych szeregowo. W instalacji stosuje się dwa lub więcej zbiorników, przeważnie w kształcie cylindrycznym, wykonanych ze stali, betonu lub tworzyw sztucznych. W celu

zminimalizowania strat ciepła reaktory są izolowane termicznie i zamknięte. Przy połączonych szeregowo zbiornikach, w pierwszym stopniu instalacji uzyskuje się temperaturę w dolnym zakresie rozkładu termofilnego, a maksimum dezynfekcji i najwyższą temperaturę w stopniu ostatnim. Codzienny zrzut unieszkodliwionych osadów odbywa się tylko z ostatniego stopnia. Po zakończeniu kolejnego zrzutu surowe osady są podawane do pierwszego stopnia, podczas gdy przetworzone częściowo osady są przemieszczane do kolejnego reaktora. Przemieszczanie osadów z reaktora pierwszego do reaktora następnego wywołuje jedynie niewielki spadek temperatury. Po zasileniu osadami reaktory pozostają odizolowane przez 23 godziny, kiedy to zachodzi rozkład termofilny. W celu ograniczenia wzrostu temperatury w ostatnim reaktorze można zainstalować wymiennik ciepła.

Brak doświadczeń krajowych w zakresie znajomości stosowania procesu ATSO stanowił przesłankę do podjęcia badań nad jego przebiegiem. Możliwość uczestniczenia w tworzeniu instalacji od etapu koncepcji i projektowania do montażu instalacji, rozruchu technologicznego i eksploatacji, pozwoliła na zdobycie wielu rozległych doświadczeń. Głównym celem podjętych badań, poza uzupełnieniem wiedzy na temat przedmiotowego procesu, było zbadanie jego efektywności w aspekcie stabilizacji i higienizacji i tym samym wskazanie istotnego kierunku unieszkodliwiania osadów ściekowych w oczyszczalniach o przepustowości do 20000 m³/d. Za cel naukowy przyjęto udokumentowanie kinetyki procesu, przebiegającego w dwustopniowej instalacji, za pomocą wybranych parametrów technologicznych. Znaczący był również cel użytkowy, który poprzez zastosowanie właściwych narzędzi analitycznych, umożliwi wykorzystanie uzyskanych zależności w projektowaniu i eksploatacji kolejnych obiektów również w nowych obszarach zastosowania.

Przedmiotem badań były zaprojektowane, wykonane i wdrożone instalacje ATSO oczyszczalni ścieków w Giżycku, Lubaniu i Olecku. Pierwszy etap badań wykonany został w czasie rozruchu wymienionych instalacji i początkowym okresie ich eksploatacji. Priorytetowym celem tych badań było udokumentowanie skuteczności procesu w zakresie higienizacji i stabilizacji osadów ściekowych. Analizowano przede wszystkim zmiany temperatury osadów w czasie trwania procesu oraz spadek zawartości suchej masy. Wykonana analiza statystyczna wyników badań i testy dla wartości średniej potwierdziły stawianą hipotezę. Szczegółowe wyniki z okresu rozruchu zostały przedstawione przez Bartkowska (2005) a późniejsze przez Bartkowska i inni (2005) oraz Bartkowska i Dzienis (2007). Uzyskane rezultaty miały decydujące znaczenie, gdyż powstała w roku 2003 instalacja ATSO w Giżycku była pierwszą tego typu w Polsce. Analizy zmian temperatury,

zawartości suchej masy oraz suchej masy organicznej zostały również wykonane w czasie rozruchu i początkowej eksploatacji instalacji ATSO w Lubaniu w latach 2006 - 2008. Potwierdzone zostały efekty uzyskane w Giżycku a szczegółowe wyniki zostały przedstawione przez Bartkowska i Dzienis (2009). Prowadzone w Lubaniu badania poszerzono o pomiar odczynu osadów przed i po procesie ATSO. Wyniki zaprezentowano przez Bartkowska (2011).

Kolejnym obiektem włączonym do prowadzonych badań w roku 2009 była oczyszczalnia ścieków w Olecku. Drugi etap badań rozszerzono o pomiar wartości ChZT, przewodności elektrolitycznej oraz potencjału oksydacyjno-redukcyjnego osadów. Badania wykonane zostały w dwóch seriach. Szczegółowe wyniki badań zmian odczynu osadów w przebiegu procesu ATSO w instalacji trzystopniowej przedstawiono przez Bartkowska (2014). Po pierwszej serii badań zaprezentowano także analizę wyników pomiaru potencjału redoks na przykładzie dwustopniowej instalacji w Olecku przez Bartkowska (2014). Z tego okresu przygotowane zostały dwie kolejne publikacje. W jednej z nich przedstawiono zmiany przewodności osadów. W drugiej przeanalizowane zostały zmiany zawartości suchej masy, substancji organicznych w suchej masie osadów oraz wartości ChZT. Obie w trakcie procedur wydawniczych.

Oczyszczalnia ścieków w Giżycku uzyskała decyzję o wprowadzeniu do obrotu nawozu z osadów ściekowych, o czym wspomniano przez Bartkowska i Wawrentowicz (2011). Natomiast oczyszczalnia w Olecku otrzymała decyzję o wprowadzeniu do obrotu środka poprawiającego właściwości gleby. Wyniki tego postępowania przedstawiono przez Bartkowska (2013).

W monografii zebrane zostały wszystkie wyniki badań prowadzone w trzech oczyszczalniach, łącznie z ostatnimi nie publikowanymi jeszcze rezultatami drugiej serii. Każdy badany parametr technologiczny analizowano oddzielnie, przedstawiając zmiany zachodzące w trakcie trwania procesu, w kolejnych reaktorach każdej instalacji. Rezultaty przedstawiono w oparciu o metody statystyki opisowej, analizy regresji i korelacji oraz statystykę testową.

Jednym z analizowanych parametrów była temperatura osadów, która jest tym istotniejsza, że świadczy zarówno o prawidłowo przebiegającym procesie jak i równomiernej, prawidłowej pracy urządzeń napowietrzających. Temperatura osadów będąca wynikiem zachodzących procesów biochemicznych jest równocześnie czynnikiem warunkującym ich higienizację. Całkowity średni przyrost temperatury wynosił od 32 do 42 °C. Większy przyrost temperatury zaobserwowano w pierwszym stopniu instalacji w Lubaniu i Olecku.

W Giżycku większy przyrost temperatury przypadł na drugi stopień instalacji. Prawdopodobna przyczyna była wynikiem składu osadów doprowadzanych do instalacji. Do wszystkich badanych instalacji doprowadzane są przede wszystkim osady nadmierne. Jednak w Giżycku doprowadzane są one z komór osadu czynnego oraz z osadników wtórnych. Biorąc pod uwagę uzyskiwane temperatury i hydrauliczny czas retencji osadów w instalacji należy stwierdzić, że badana technologia spełnia warunki niezbędne do skutecznej higienizacji. Potwierdzają to również wielokrotnie wykonywane badania mikrobiologiczne i parazytologiczne, które nie wykazały obecności pałeczek *Salmonella* oraz żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* i *Toxocara sp.*

Jako kryterium stabilizacji osadów najczęściej wskazuje się zmniejszenie zawartości substancji organicznych, która powinna wynosić 38 %. Na oczyszczalni ścieków w Lubaniu ponad 50 % obliczonej obniżki zawartości substancji organicznych osiągnęło wskazywaną wartość a na oczyszczalni w Olecku wynik ten uzyskano w 53 %. Należy przy tym podkreślić, że proces prowadzony był w warunkach rzeczywistych na skalę techniczną. Również spadek zawartości substancji organicznych, wyrażonych wartościami ChZT dla ponad 95 % wyników wynosił od 21,56 % do 71,56 %.

Istotnym dokonaniem wydaje się być przedstawienie w pracy zakresów wartości przewodności i potencjału redoks. W czasie procesu autotermicznej termofilnej stabilizacji osadów zauważono kilku, a nawet kilkunastokrotny wzrost przewodności elektrolitycznej właściwej, która zależy przede wszystkim od rodzaju i ilości zdysocjowanych substancji rozpuszczonych o charakterze nieorganicznym. Pomiar taki powszechnie wykorzystywane są do badania stopnia mineralizacji ogólnej wód czy gleby. Stały pomiar przewodności w reaktorach umożliwia kontrolę przebiegających zmian. Pomiar potencjału redoks może okazać się przydatny do monitorowania kierunku przemian biochemicznych. Jego wartość średnia wyniosła w osadach zagęszczonych -225,16 mV, w osadach z reaktora pierwszego stopnia -369,43 mV, a w osadach ustabilizowanych -442,32 mV. Pomiar przewodności i potencjału były wykonywane w obu seriach badań, ale tylko w jednym obiekcie. Ostateczną decyzję o pomiarze on line obu parametrów należy poprzedzić kolejnymi badaniami na innym obiekcie. Tym bardziej, że w doniesieniach literaturowych niewiele jest informacji dotyczących pomiaru przewodności i potencjału redoks w trakcie przedmiotowego procesu.

Przeprowadzone badania wykazały, że znacznie większy spadek lub wzrost analizowanych parametrów odbywa się w reaktorze pierwszego stopnia, w którym znacznie intensywnej zachodzą wszystkie procesy biochemiczne. Przemawia to za koniecznością zastanowienia się nad możliwością zwiększenia pojemności reaktora pierwszego stopnia oraz

ilości dostarczanego powietrza. Zapewniłoby to zintensyfikowanie przebiegu procesów w tym zbiorniku. Umożliwiłoby dostarczenie niezbędnego tlenu w tym momencie, gdy jest on najbardziej potrzebny. Zwiększenie pojemności tego zbiornika z pewnością poprawi bilans energetyczny całego procesu oraz równowagę cieplną. Intensywne powstawanie odorów również ograniczy się przede wszystkim do tego reaktora. Drugi stopień instalacji przejmie natomiast głównie proces higienizacji. Zakończenie przebiegu większości procesów biochemicznych w pierwszym zbiorniku może także poprawić zdolność odwadniania otrzymywanych osadów.

Analizując wyniki badań osadów zagęszczonych przed procesem ATSO oraz z kolejnych stopni instalacji zauważono wyraźne tendencje zachodzących zmian. Znaczącym osiągnięciem jest przedstawienie charakteru tych zmian w czasie trwania procesu ATSO, prowadzonego w dwustopniowej instalacji. Przybliżony ich przebieg przedstawiono na wykresach. Przedstawione trendy obrazują linie, których dopasowanie uzyskano metodą najmniejszych kwadratów ważonych odległościami. Zastosowane wygładzenie miało na celu wyodrębnienie tendencji badanego zjawiska jak również eliminację wahań, które mogły być wynikiem błędów przypadkowych czy eksploatacyjnych. Na podstawie utworzonych wykresów możliwa jest ocena pracy dwustopniowej instalacji ATSO. Analizując jeden z przedstawionych wskaźników zanieczyszczeń na podstawie wyniku w osadach zagęszczonych można z pewnym przybliżeniem przedstawić przebieg jego zmian. Zaobserwowane tendencje ułatwią utworzenie kolejnych nomogramów przy różnych początkowych wartościach danego wskaźnika. Przygotowane w ten sposób wykresy zastosowane w eksploatacji podobnych instalacji ułatwią tym samym pracę obsługi.

Każdy proces unieszkodliwiania osadów ściekowych powinien prowadzić przede wszystkim do ich stabilizacji oraz higienizacji i powodować zmniejszenie ich ilości. Cały proces zrzut-zasilanie odbywa się automatycznie, zgodnie z projektowaną wydajnością instalacji ATSO. Jeśli zachodzi potrzeba możliwe jest ręczne sterowanie, w celu odprowadzania i doprowadzania wymaganej ilości osadów, uzależnione na przykład od ich chwilowej produkcji i potrzeb oczyszczalni. Z tego względu ilości przetwarzanych osadów w pewnym zakresie zależą od eksploatatora. Jednak bilansowanie ilości osadów doprowadzanych i otrzymywanych po procesie, w określonym przedziale czasowym, umożliwi dokonanie oceny stopnia ich obniżki. Bardzo obiecujące wyniki uzyskano, w okresie objętym badaniami, na oczyszczalni w Lubaniu. Zmniejszenie ilości osadów w wyniku procesu wynosiło przy pracy instalacji ATSO w układzie dwustopniowym 79,6 % a przy pracy w układzie trzystopniowym 79,11 %. Tak znaczny spadek ilości osadów wydaje

się być prawdopodobny, gdyż drobnoustroje termofilne wymagają, dla utrzymania swoich procesów życiowych, większej ilości energii niż mikroorganizmy mezofilne. Z całkowitej ilości energii, powstającej podczas termofilnego utleniania związków organicznych, większa część zostaje wykorzystana podczas metabolicznych przemian drobnoustrojów, mniejsza natomiast do wytwarzania nowych komórek. Stąd też procesy zachodzące w podwyższonej temperaturze charakteryzują się relatywnie niską produkcją biomasy w stosunku do procesów mezofilnych.

Wieloletnie obserwacje, zdobyte doświadczenie oraz analiza zgromadzonego materiału badawczego pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Proces ATSO realizowany w badanych instalacjach pozwala na uzyskanie osadów ściekowych ustabilizowanych i zhygienizowanych.
2. Niepodważalne wydają się również właściwości fizyko-chemiczne przetworzonych osadów wskazujące na korzyści wynikające z możliwości ich przyrodniczego wykorzystania.
3. Autotermiczna termofilna stabilizacja osadów ściekowych może w sposób istotny zmniejszyć ich ilość.
4. Przy projektowaniu i realizacji kolejnych inwestycji należy rozważyć możliwość zwiększenia pojemności reaktora stanowiącego pierwszy stopień instalacji.
5. Pomiar ciągły potencjału redoks w reaktorze pierwszego stopnia można wykorzystać jako skuteczne narzędzie w diagnostyce przebiegu procesu natomiast pomiar przewodności elektrolitycznej właściwej należałoby zastosować w ostatnim stopniu instalacji.

Proces ATSO przebiega w opisywanych instalacjach w sposób w pełni zautomatyzowany. Nie znaczy to jednak, że niemożliwa jest poprawa skuteczności jego działania. Udokumentowane badania i wynikające z nich wnioski wskazują kierunek podjęcia modernizacji dotychczas pracujących instalacji. Ze względu na spodziewane efekty w bilansie energetycznym należy wykorzystać przedstawione uwagi przy projektowaniu kolejnych instalacji. Istotne wydaje się przede wszystkim zwiększenie objętości reaktora pierwszego stopnia. Analiza zebranych materiałów pozwala sugerować zastosowanie pojemności o 20 do 25% większych w stosunku do pojemności reaktora drugiego stopnia. Wraz ze zwiększeniem pojemności należy w tym reaktorze zwiększyć intensywność napowietrzania. Pozytywnym skutkiem takich zmian może okazać się także zmniejszenie ilości powstających odorów. Wskazane jest również dalsze kontynuowanie badań zmierzające do uzyskania wymiernych korzyści przy realizacji procesu, który wydaje się skutecznym sposobem

ostatecznego unieszkodliwiania osadów ściekowych. W szczególności należy kontynuować badania dotyczące pomiarów ciągłych potencjału redoks, który pozwoli na ocenę kierunku przebiegu reakcji biochemicznych, oraz przewodności elektrolitycznej właściwej, dzięki której można by było ocenić stopień mineralizacji osadów poddawanych procesowi ATSO. Oba wskaźniki mogłyby pomóc w ocenie stopnia stabilizacji osadów, która jest ważnym kryterium pozwalającym na ich ostateczne wykorzystanie.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moje osiągnięcia naukowo-badawcze ściśle wiążą się z zatrudnieniem w Politechnice Białostockiej i realizowaną pracą zawodową. Trudne jest wyodrębnienie okresów czasowych, w których urzeczywistniane były konkretne zainteresowania i zamknięcie ich tylko w określonym czasie. Ich realizacja często przebiegała równocześnie lub zachodziła na siebie. Z pewnością można jednak wymienić tematy, wokół których koncentrowały się moje zainteresowania.

Najważniejsze z nich to:

- jakość ścieków deszczowych i sposoby ich oczyszczania przed odprowadzeniem do odbiornika,
- oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych, w szczególności zastosowanie sekwencyjnych reaktorów biologicznych,
- unieszkodliwianie osadów ściekowych, głównie wykorzystując proces ATSO,
- zastosowanie fotokatalitycznego utleniania i zjonizowanego aktywnego tlenu do dezodoryzacji powietrza w obiektach oczyszczalni ścieków,
- rozwiązywanie problemów decyzyjnych z zastosowaniem analizy wielokryterialnej.

Pilotowe badania ścieków opadowych prowadzono w latach 1985-1987. Wykonywane były na zróżnicowanych zlewniach w obrębie miasta Białystok, w Ełku i w Gołdapi. Drugi etap badań dotyczył wybranej zlewni o charakterze usługowo-mieszkaniowym w Białymstoku i realizowany był w latach 1992-1993. Wyniki przedstawiono przez Bartkowska i Królikowski (1996). Kolejne badania obejmowały analizę jakościową wód opadowych, ścieków deszczowych i wód roztopowych. Określano ich odczyn, zawartość zawiesin ogólnych, wartości ChZT i BZT₅, stężenia związków azotu, fosforu, chlorków, siarczanów, substancji rozpuszczonych i przewodność elektrolityczną właściwą. Równocześnie z badaniami jakościowymi prowadzono szczegółowe obserwacje i pomiary

wysokości opadów przy użyciu pluwiografu. Wyniki badań i ich analizę przedstawiono w rozprawie doktorskiej pt. „Prognozowanie zanieczyszczeń spływów opadowych ze zlewni zurbanizowanych”.

Zdobyte w tej dziedzinie doświadczenia zostały wykorzystane przy realizacji kolejnych prac badawczych. Pierwsza z nich pt. „System oczyszczania ścieków deszczowych dla miasta Białegostoku. Unieszkodliwienie ścieków deszczowych z terenu miasta Białegostoku” realizowana była w latach 1994-1998. Druga pt. „Ochrona wód powierzchniowych Pojezierza Augustowskiego przed zanieczyszczeniami punktowymi, liniowymi i przestrzennymi” wykonywana była w latach 1998-2000. Wyniki badań przedstawiano przez Bartkowska (1997 i 1998).

Kolejne moje zainteresowania skupiły się wokół tematyki związanej z eksploatacją oczyszczalni ścieków. Pierwsze wyniki dotyczące tego tematu przedstawiono przez Bartkowska i Dzienis (1995 i 1996). W roku 1998 rozpoczęto badania nad technologią oczyszczania ścieków w systemie BSK BIOGEST, opartą na metodzie niskoobciążonego osadu czynnego, realizowaną w sekwencyjnym reaktorze biologicznym SBR z dopływem ciągłym, z wykorzystaniem mechanicznego napowietrzania. Przedmiotowe oczyszczalnie ścieków zlokalizowane były głównie w obrębie północno-wschodniej części kraju. Zdobyte doświadczenia miały przede wszystkim charakter użytkowy. Zostały opublikowane i przedstawione w formie referatów przez Bartkowska i Dzienis (1998, 2001, 2004) oraz Bartkowska i inni (2002). W późniejszym okresie kolejne badania zaprezentowano przez Bartkowska i inni (2011), Bartkowska i Wawerentowicz (2012) oraz Bartkowska i Klaus (2013).

Prowadząc badania w oczyszczalniach ścieków nie sposób było nie dostrzec, rosnących w tym okresie, problemów z gospodarką osadową. Poszukiwanie nowych rozwiązań w tej dziedzinie doprowadziło do przedstawienia w roku 1999 procesu autotermicznej termofilnej stabilizacji osadów ściekowych w „Koncepcji modernizacji oczyszczalni ścieków w Giżycku”. Proces ten zaprezentowany został także w materiałach konferencyjnych przez Bartkowska i inni (1999). Następnie powstał projekt a po jego realizacji rozpoczęto badania dotyczące skuteczności tego procesu w warunkach krajowych. Od roku 2003 realizowane są badania osadów poddawanych procesowi ATSO. Powstały kolejne instalacje w Lubaniu (2006) i Olecku (2009). Wyniki sukcesywnie publikowano i przedstawiano w także formie referatów między innymi przez Bartkowska i inni (2005), Bartkowska i Dzienis (2006), Dzienis i inni (2006) oraz Augustin i inni (2007). Całościowo wyniki badań, łącznie z niepublikowanymi, z trzech pierwszych w Polsce obiektów

przedstawiono w monografii. Badania są nadal kontynuowane w nowopowstałych instalacjach w oczyszczalniach w Piszcu, Kętrzynie i Oławie. Rozruch tych instalacji nastąpił w roku 2012. Najnowsza instalacja rozpoczęła działanie w roku 2013 w oczyszczalni ścieków w Dąbrowie Białostockiej. Ostatni projekt został wykonany, zgodnie z sugestiami, jako dwustopniowa instalacja z powiększoną pojemnością reaktora pierwszego stopnia.

Ubocznymi efektami procesu termofilnej stabilizacji są silne pienienie osadów oraz uciążliwość zapachowa. Powietrze odprowadzane z komór termofilnej stabilizacji zawiera związki, które należy zaliczyć do uciążliwych zapachowo. Są to przede wszystkim amoniak oraz produkty rozkładu i niepełnego utleniania substancji organicznych. Amoniak powstaje w wyniku amonifikacji białek i jest głównym sprawcą uciążliwości zapachowej procesu. Poza amoniakiem obserwuje się obecność zredukowanych związków siarki (np. siarkowodór, merkaptany, siarczek dimetylu), aldehydy, ketony, lotne kwasy tłuszczowe, tioalkohole i inne. Powstawaniu związków odorowych sprzyja deficyt tlenowy spowodowany wysoką temperaturą procesu i związany z tym niski potencjał redoks. Pierwsze doświadczenia z Giżycka eksploatacji biofiltrów niestety nie były zadawalające. Rozpoczęto poszukiwania nowego procesu do oczyszczania gazów odlotowych z instalacji ATSO, który mógłby być zastosowany również w innych obiektach do dezodoryzacji powietrza. Doskonałym rozwiązaniem okazało się urządzenie do fotokatalicznego utleniania. Proces fotokatalicznego utleniania (PCO) polega na 2-etapowym traktowaniu gazów odlotowych, opartym na zastosowaniu światła ultrafioletowego, a tuż za nim konwertera katalicznego. Wstępnie oczyszczone mechanicznie z pyłów gazy kierowane są do komory jonizacyjnej, w której następuje generowanie przez promienie UV rodników tlenowych, hydroksylowych jak też rodników substancji zanieczyszczających oraz powstawanie z zawartego w nich tlenu ozonu. Źródłem promieniowana są specjalnej konstrukcji lampy. Rodniki, zawsze znacznie bardziej reaktywne niż nieoczyszczane molekuly, natychmiast początkują utlenianie w obecności dostępnych utleniaczy. Całkowite utlenienie substancji zanieczyszczających zawartych w gazach odlotowych wymaga jednak dostatecznego kontaktu cząstek reagujących. Konwerter kataliczny swoją dużą powierzchnią zapewnia dokładny rozkład substancji zanieczyszczających i równocześnie jest buforem dla obciążeń szczytowych. Daje również możliwość ostatecznego utlenienia poprzez adsorpcję produktów rozkładu na swojej powierzchni, bez ich pochłaniania, oraz zapobiega przedostawaniu się ozonu do otoczenia. Reakcje fizyko-chemiczne zachodzące podczas procesu PCO mają bardzo złożony charakter. Silne utleniacze, jak ozon czy rodniki hydroksylowe, wykorzystywane są do rozkładu substancji odorotwórczych. Przykładowo siarkowodór (H_2S), jedna z najbardziej znanych

substancji odorotwórczych, ulega rozkładowi w wyniku tzw. reakcji Klausa. W komorze jonizacyjnej, w obecności tlenu, utlenia się i powstaje dwutlenek siarki. Z kolei dwutlenek siarki, w obecności konwertera katalitycznego, wchodzi w reakcję z siarkowodorem i powstaje siarka oraz woda. Inne produkty rozkładu to głównie dwutlenek węgla (CO_2) i woda (H_2O). Wyniki badań wstępnych przedstawiono przez Bartkowska i Dzieńcis (2004 i 2006), Augustin i inni (2007) oraz Bartkowska i Wawrentowicz (2014). Zainteresowania jak również badania rozszerzono o kolejny proces, w którym wykorzystywane są zjawiska jonizacji powietrza. Lampy jonizujące w urządzeniach IAO wytwarzają silne pole elektrostatyczne. Pomiędzy dwoma elektrodami lamp jonizujących zachodzą wyładowania koronowe, początkując reakcje chemiczne. Efektem tych reakcji jest z jednej strony przechodzenie elektronów z orbity podstawowej na orbitę o wyższym potencjale energetycznym, zaś z drugiej – wytwarzanie rzeczywistych jonów tlenu. W urządzeniu zachodzą jednocześnie oba mechanizmy: aktywacja tlenu i jonizacja. Wytwarzany wysoko reaktywny tlen jest silnym środkiem utleniającym. W porównaniu do neutralnego tlen aktywny posiada wysokie właściwości addytywne i możliwości utleniania, co pozwala natychmiast utleniać i neutralizować nawet silne substancje zanieczyszczające powietrze. Utlenianie zanieczyszczeń odbywa się do końcowych produktów wody, dwutlenku węgla lub innych nieszkodliwych związków. Drugim efektem jest polaryzowanie się tlenu i innych molekuł powietrza ze względu na silne pole elektrostatyczne. Aktywny tlen i spolaryzowane lub naładowane molekuly osiadają na cząstkach jak pył. Z tego względu powstają reaktywne skupiska, które są wydmuchiwane z instalacji tlenu aktywnego do pomieszczenia. Ponadto zachodzą reakcje powodujące dalsze oczyszczenie powietrza. Mikroorganizmy związane ze skupiskami natychmiast tracą swoją aktywność. Oczyszczone i odświeżone powietrze jest zasysane z powrotem do pomieszczenia. Oba procesy PCO i IAO doskonale nadają się do dezodoryzacji obiektów oczyszczalni ścieków. Istniejące instalacje objęto są kolejnymi badaniami.

Naukowcy, decydenci, inżynierowie codziennie spotykają się z koniecznością podejmowania decyzji, które dotyczą planowanych przedsięwzięć czy ich modernizacji. Można opierać się na kryteriach technicznych i nietechnicznych oraz mierzalnych i niemierzalnych, które często są przeciwstawne i nie mogą być spełnione jednocześnie w sposób optymalny. Najczęściej pod uwagę brane jest jedno kryterium – ekonomiczne. Praktyka podejmowania decyzji koncentruje się na wazeniu możliwości, które spełniają zbiór pożądaných celów. Decyzja polega na wybraniu jednej spośród możliwości. W każdym problemie decyzyjnym istnieje co najmniej jedna decyzja optymalna, w odniesieniu do której

można obiektywnie określić, że nie ma innej, lepszej decyzji, zachowując przy tym neutralność wobec procesu decyzyjnego. Problemem jest wybór tej możliwości, która najlepiej spełnia kompletny zbiór celów. Te dylematy stały się podstawą poszukiwania nowych obszarów zainteresowań. Duże możliwości w tym zakresie daje analiza wielokryterialna, której zastosowanie w zakresie systemów inżynierii środowiska stało się przyczyną próby zgłębiania tego obszaru wiedzy. Analiza wielokryterialna jest bowiem metodą matematyczną, pozwalającą na wybór najkorzystniejszego rozwiązania. Dynamiczny rozwój metod i technik komputerowych przyczynia się znacząco do zwiększenia możliwości wykorzystania analizy decyzyjnej zarówno w celach aplikacyjnych jak i poznawczych. Szerokie spektrum jej zastosowań praktycznych nie pozostawia wątpliwości w zakresie konieczności zgłębienia tej dyscypliny naukowej. Szczególnie bowiem w inżynierii środowiska istnieje wciąż potrzeba opracowywania interdyscyplinarnego podejścia, które łączyć będzie behawioralne i kwantytatywne aspekty teorii w spójny proces użyteczny zarówno dla teoretyków jak i praktyków. Pierwsze próby zostały przedstawione w dwóch publikacjach przez Nytko i Bartkowska (2013). Stanowią one przykład zastosowania analizy wielokryterialnej w procesie wyboru wariantów technologicznych funkcjonowania oczyszczalni ścieków na obszarach o zdefiniowanych wymaganiach stanu ekologicznego lub potencjału ekologicznego jednolitej części wód powierzchniowych.

Nieuchronną konsekwencją realizowanych badań i zainteresowań stało się dążenie do podjęcia kluczowego tematu jakim jest modelowanie procesów. Zgodnie z najnowszymi światowymi trendami modelowanie matematyczne staje się nieodłącznym elementem projektowania i eksploatacji systemów oczyszczania ścieków i unieszkodliwiania osadów, zwłaszcza bazujących na procesie osadu czynnego. Symulacja pracy układów osadu czynnego okazuje się niezwykle przydatnym narzędziem dla eksploatorów, projektantów i konsultantów, jak również dla środowiska naukowego. Skutki czasowe i finansowe eksperymentów prowadzonych na skalę techniczną dla różnych układów instalacji i warunków pracy czynią takie badania kosztownymi i długotrwałymi w kontekście przygotowywania procesu projektowego czy zarządzania operacyjnego. Eksperymenty na skalę laboratoryjną zapewniają zrozumienie (w różnym stopniu) wielu mikrobiologicznych i chemicznych procesów z tym związanych ale ich wyniki nie zawsze są wystarczające. Zastosowanie modeli matematycznych pozwala na zbadanie w krótkim czasie i przy niskim nakładzie finansowym wielu rozwiązań technologicznych oraz na symulacje zdarzeń spoza

zakresu warunków typowych dla układu rzeczywistego. Poprzez gromadzenie wyników badań zapewniamy narzędzia, które pozwolą uzyskać niezbędne informacje o procesie projektowania na podstawie symulacji komputerowych.

Proces ATSO wykorzystuje rozwój bakterii zarówno do zmniejszenia substancji organicznych jak i niszczenia mikroorganizmów chorobotwórczych. Napowietrzanie osadu wspomaga rozwój bakterii aerobowych, które redukują związki organiczne dostępne w osadzie. Taka aktywność metaboliczna wytwarza energię i podnosi temperaturę osadu. Bakterie termofilne w osadzie dobrze rozwijają się w wysokich temperaturach. Natomiast większość organizmów patogennych to mezofile, których aktywność metaboliczna gwałtownie zmniejsza się w temperaturach powyżej 40 - 45 °C, Giną poprzez dostatecznie długie wystawienie na działanie temperatury. Bakterie aerobowe, termofilne rozmnażają się i dominują w gorącym osadzie, a proces ATSO wykorzystuje ich metaboliczną aktywność na wytwarzanie ciepła, które zapewnia osiągnięcie higienizacji i redukcji substancji organicznych. Takie uproszczenie procesu, zgromadzone wyniki badań oraz zdobyta wiedza pozwalają przejść do kolejnego celu jakim jest optymalizacja systemów ATSO. Podjęto starania związane z opracowaniem uproszczonego modelu procesu ATSO. Model tworzony będzie na bazie istniejącego modelu ASM1, który według mikrobiologów obejmuje niezbędne procesy potrzebne do modelowania ATSO. Przeprowadzenie kalibracji tego modelu, zdefiniowanie procesów jednostkowych i opisanie ich za pomocą równań, określenie rodzaju substratów podlegających przemianom, opisanie i uwzględnienie innych czynników mających wpływ na jego przebieg doprowadzi do powstania kolejnej modyfikacji, która odda złożoność rzeczywistego procesu. Dotychczas realizowane badania umożliwiły podjęcie pierwszych kroków w tym nowym wyzwaniu. Wytyczyły również drogę realizacji kolejnych zainteresowań.

*Izabela
Bartkowska*

podpis wnioskodawcy