

Innowacyjne technologie oczyszczania ścieków komunalnych – kierunki rozwoju

Krzysztof Barbusiński

Rozwój technologii środowiskowych jest jednym z warunków rozwoju gospodarczego Polski jako jeden z istotnych elementów realizacji zasad zrównoważonego rozwoju. Analiza tych dokumentów pokazuje, że jednym z kluczowych obszarów technologicznych, które mają istotne znaczenie dla rozwoju Polski, jest gospodarka wodno-ściekowa. Dokumentem, który określa działania rozwojowe w ramach przyszłej perspektywy finansowej UE na lata 2014–2020, jest *Strategia Rozwoju Kraju 2020 – Aktywne społeczeństwo, konkurencyjna gospodarka, sprawne państwo (SRK 2020)*. Strategia ta jest podporządkowana *Długookresowej Strategii Rozwoju Kraju 2030 – Trzecia fala nowoczesności (DSRK 2030)*, która prezentuje główne trendy, koncepcję rozwoju kraju oraz wyzwania w perspektywie długookresowej [1–4]. Zgodnie z SRK 2020, aby zwiększyć zainteresowanie przedsiębiorstw pracami B+R oraz wdrażaniem innowacji, rozwijane mają być prace naukowo-badawcze i instrumenty finansowania w tym zakresie. Zgodnie z tą strategią promowane będzie stosowanie innowacyjnych technologii w przemyśle oraz rozwój działań polegających na ochronie wód podziemnych i powierzchniowych przez ograniczenie ich zanieczyszczenia oraz działania związane z porządkowaniem systemu gospodarki ściekowej zaplanowane w Krajowym Programie Oczyszczania Ścieków Komunalnych.


W artykule opisano krótko kierunki rozwoju innowacyjnych technologii oczyszczania ścieków, których wdrażanie może przynieść nie tylko polepszenie efektów oczyszczania, ale także poprawić rachunek ekonomiczny oczyszczalni.

1. Intensyfikacja produkcji i wykorzystanie biogazu

Nowoczesne oczyszczalnie ścieków są skomplikowanymi obiektami inżynieryjno-technologicznymi, których funkcjonowanie często nie ogranicza się już jedynie do oczyszczania ścieków i unieszkodliwiania osadów ściekowych. Obecnie w nowoczesnych oczyszczalniach ścieków unieszkodliwiających osady ściekowe w procesie fermentacji dobrą praktyką staje się wykorzystanie powstającego w komorach fermentacyjnych biogazu do skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej w procesach kogeneracji. Energetyczne wykorzystanie biogazu w oczyszczalniach ścieków znane jest od dziesięcioleci. Jednak obecnie dogłębna znajomość przemian zachodzących w procesach fermentacji, produkcja urządzeń kogeneracyjnych o coraz lepszej sprawności energetycznej, a także duże możliwości w zakresie sterowania i optymalizacji procesów oczyszczania, zarówno w części ściekowej, jak i osadowej oczyszczalni, stwarzają przesłanki do wprowadzania zabiegów intensyfikujących produkcję i wykorzystanie biogazu [5].

Streszczenie: W pracy przedstawiono kierunki rozwoju innowacyjnych technologii w oczyszczalniach komunalnych. Omówiono procesy kofermentacji, wykorzystanie biogazu do produkcji energii elektrycznej, usuwanie azotu z odcieków pofermentacyjnych, występowanie farmaceutyków w ściekach i problem lekooporności bakterii, a także możliwości zaprojektowania oczyszczalni zero-energetycznej. Opisano także strategiczne działania związane z tworzeniem mechanizmów do współpracy między sektorami nauki i gospodarki w celu rozwoju i wdrażania zaawansowanych technologii oczyszczania ścieków komunalnych.

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, innowacyjne technologie, kofermentacja, kogeneracja, odcieki z odwadniania osadów, farmaceutyki w ściekach, oczyszczalnia zero-energetyczna

 **Abstract:** The paper presents directions for the development of innovative technologies in municipal wastewater treatment plants. The publication discusses co-fermentation processes, the use of biogas for electricity production, the removal of nitrogen from the reject water from the dewatering of digested sludge, the presence of pharmaceuticals in wastewater and the problem of drug-resistant bacteria, as well as the possibility of designing a zero-energy wastewater treatment plant. This article describes also, a strategic activities related to the creation of mechanisms for cooperation between representatives from science and economy for the development and implementation of advanced technologies of municipal wastewater treatment.

Keywords: wastewater treatment, innovative technologies, co-fermentation, cogeneration, reject water from the dewatering of digested sludge, pharmaceuticals in wastewater, zero-energy wastewater treatment plant

W procesie kogeneracji biogaz pozyskiwany podczas fermentacji osadów ściekowych kierowany jest do agregatów kogeneracyjnych (fot. 1), służących do skojarzonej produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. Oczyszczalnia pokrywa w ten sposób część zapotrzebowania na energię elektryczną z własnej produkcji. Natomiast ciepło wydzielone przy spalaniu biogazu w silniku gazowym generatora zasila sieć grzewczą poprzez wymienniki ciepła. W razie postojów lub awarii agregatów kogeneracyjnych na terenie oczyszczalni znajdują się kotły grzewcze, które spalając biogaz, pokrywają zapotrzebowanie na ciepło.



Fot. 1. Agregat kogeneracyjny (K. Sadowska, w [6])

Kotły takie przystosowane są najczęściej zarówno do spalania biogazu, jak i oleju opałowego [6].

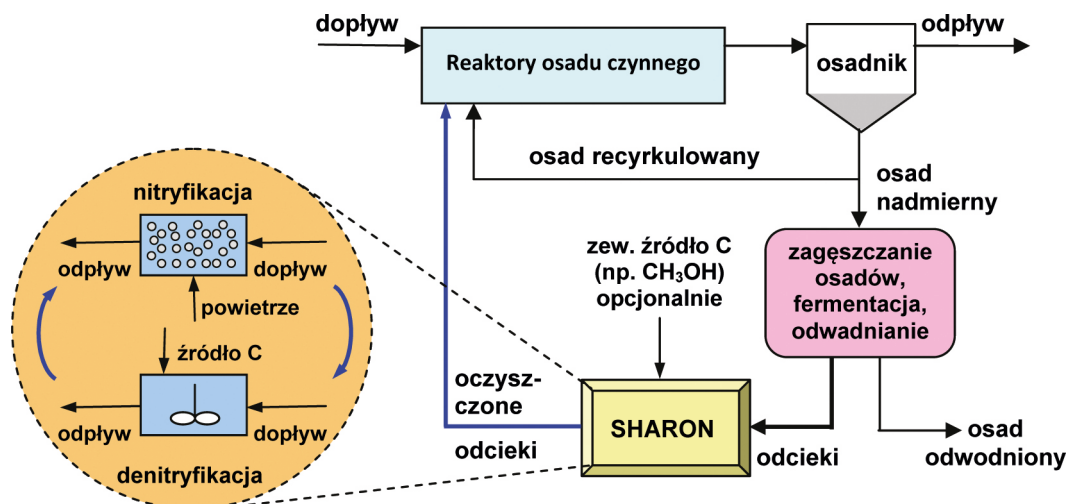
Ze względu na to, że często istniejące instalacje stabilizacji beztlenowej osadów ściekowych są niedociążone ilością fermentowanych osadów (ponieważ ilość ścieków dopływających do oczyszczalni jest zwykle mniejsza od prognozowanej, a zatem ilość powstających osadów też jest mniejsza), nowoczesne

Tabela 1. Zawartość głównych składników w biogazie w zależności od rodzaju substratu [7]

Rodzaj substratu	Zawartość, % (v/v)	
	CH ₄	CO ₂
Węglowodany	50	50
Tłuszcze	70	30
Białka	52	48
Odpady komunalne	56	44
Osady ściekowe	63	37

podejście do eksploatacji komór fermentacyjnych powinno obejmować wykorzystanie tego „nadmiaru” miejsca w komorach właśnie na fermentację innych odpadów wspólnie z osadami ściekowymi. Jest to tzw. kofermentacja, czyli współfermentowanie osadów ściekowych z innymi substratami typu serwatka, odpady zwierzęce itp. Najczęściej współfermentacji poddawane są odpady z rolnictwa, z przemysłu rolno-spożywczego, frakcja organiczna z odpadów komunalnych, a także bioodpady zbierane selektywnie [7]. Wykorzystuje się także inne odpady organiczne, np. glicerol będący produktem ubocznym podczas wytwarzania paliwa ekologicznego (biodiesel). W procesie współfermentacji osadów ściekowych można również wykorzystywać odpady komunalne powstające w gospodarstwach

reklama



Rys. 1. Schemat procesu SHARON® z jednym reaktorem (na podstawie [15])

domowych [8–10], trawę pochodzącą z wykaszania trawników [11], odpady żywnościowe [12, 13], a nawet odcieki ze składowisk odpadów [14].

Współfermentacja ma na celu maksymalizację produkcji biogazu, gdyż często odpady organiczne charakteryzują się większą produkcją biogazu w odniesieniu do osadów ściekowych, dzięki czemu ich współfermentacja z osadami wpływa korzystnie na ilość powstałego biogazu. Odpowiedni dobór stosunku masyowego współfermentowanych odpadów pozwala na uzyskanie większej ilości biogazu, przy jednoczesnym utrzymaniu na w miarę stałym poziomie zawartości metanu w biogazie. Substancjami, które charakteryzują się dużą produkcją biogazu w procesie beztlenowej biodegradacji, są m.in. węglowodany, tłuszcze oraz białka. Rozkład tłuszczów powoduje wytwarzanie biogazu o dużej zawartości metanu (tabela 1). Również fermentacja białek pozwala na uzyskanie biogazu o większej kaloryczności niż w przypadku rozkładu węglowodanów. Podczas beztlenowej degradacji związków organicznych zawartych w osadach ściekowych powstaje natomiast biogaz o średniej zawartości metanu wynoszącej 63% (v/v) [7].

Współfermentacja niesie jednak ze sobą zagrożenia i posiada pewne wady. Należy pamiętać, że źle dobrane substraty do współfermentacji mogą spowodować spowolnienie fermentacji bądź inne problemy eksploatacyjne komór fermentacyjnych, dlatego zawsze wymaga to przeprowadzenia odpowiednich badań nad doбором substratów i ich wzajemnymi stosunkami ilościowymi. Należy także mieć na względzie jakość powstającej mieszaniny pofermentacyjnej, czy przypadkiem współfermentacja nie wpłynie niekorzystnie na jej dalsze ostateczne zagospodarowanie. Należy też przeanalizować, czy kosztem większej ilości biogazu nie nastąpi znaczne pogorszenie zdolności do oddawania wody przez osad, co będzie się wiązało ze zwiększeniem kosztów procesu odwadniania osadu.

Więcej możliwości intensyfikacji procesu fermentacji, takich jak wprowadzenie fermentacji dwustopniowej, zmianę fermentacji mezofilowej na termofilową, a także inne zabiegi w obrębie

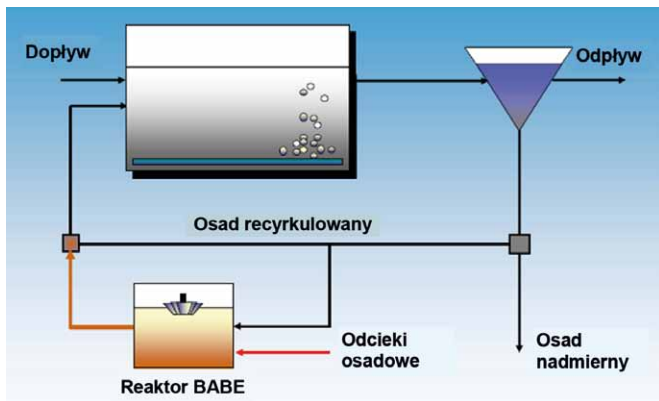
części ściekowej oczyszczalni, prowadzące m.in. do zwiększenia ilości osadów i zawartości frakcji organicznej w osadach wprowadzanych do komór fermentacyjnych, opisano w innej publikacji autora [5].

2. Usuwanie azotu z odcieków pofermentacyjnych

Analiza ładunków zanieczyszczeń dopływających, jak i generowanych w oczyszczalniach (w wyniku procesów technologicznych) pokazuje, że czynnikiem o potencjalnie dużym negatywnym wpływie na efekty usuwania azotu ogólnego są odcieki z odwadniania przefermentowanych osadów. Odcieki te niosą ze sobą znaczny ładunek azotu, który po zawróceniu do głównego ciągu technologicznego może powodować problemy z uzyskaniem wymaganego stopnia usuwania azotu ogólnego w procesach nitryfikacji i denitryfikacji. Ładunek azotu amonowego w tego typu odciekach może stanowić nawet do 25–30% ładunku azotu amonowego doprowadzanego do części biologicznej. Dodatkowy ładunek azotu amonowego zawarty w odciekach znacząco zwiększa zużycie tlenu w procesie nitryfikacji i zapotrzebowanie na węgiel organiczny w procesie denitryfikacji, jak również negatywnie wpływa na efekty usuwania azotu ogólnego w oczyszczalni i zwiększa wymaganą objętość bioreaktorów.

Dlatego obecnie w wielu krajach czyni się starania zmierzające do ograniczenia wpływu tych odcieków na pracę oczyszczalni przez wprowadzanie innowacyjnych technologii podczyszczania tych odcieków w tzw. bocznym ciągu technologicznym, zanim zostaną zawrócone do głównego ciągu oczyszczania. Stosuje się tutaj głównie procesy biologiczne, najprostsze do zastosowania w oczyszczalniach komunalnych, z wykorzystaniem osadu czynnego. Są to nowoczesne i efektywne technologie stosowane jeszcze w ograniczonym zakresie, wśród których na uwagę zasługują procesy SHARON® (rys. 1), BABE® (rys. 2), połączenie procesu SHARON® i ANAMMOX®, a także proces DEMON®.

Niektóre z tych technologii wykorzystują proces skróconej nitryfikacji, polegający na utlenianiu azotu amonowego jedynie



Rys. 2. Schemat poglądowy procesu BABE® [16]

do azotynów z następującą denitryfikacją z poziomu azotynów do wolnego azotu. W wyniku skróconej nityfikacji zmniejsza się zapotrzebowanie na tlen (o ok. 25%) oraz o około 40% na węgiel organiczny niezbędny dla efektywnej denitryfikacji azotynów do wolnego azotu N_2 . Ułatwia to prowadzenie procesu w warunkach deficytu węgla organicznego dla denitryfikacji i może eliminować potrzebę stosowania zewnętrznego źródła węgla organicznego (C_{org}).

W innych rozwiązaniach stosuje się bardzo niskie stężenia tlenu rzędu $0,3 \text{ g/m}^3$, co obniża koszty eksploatacyjne, a także wykorzystuje się specyficzne bakterie deamonifikacyjne „anammox”, co powoduje brak konieczności doprowadzania zewnętrznego źródła węgla organicznego w przypadku niekorzystnego stosunku BZT_5/N , gdyż bakterie te są autotrofami. Technologie te zostały w większym bądź mniejszym stopniu zastosowane już w praktyce na świecie. Obecnie jedną z najszybciej wdrażanych jest technologia DEMON®, która ma już około 70 wdrożeń na całym świecie. Największa europejska instalacja pracuje obecnie w oczyszczalni ścieków w Budapeszcie. Pierwsza instalacja DEMON® w Polsce została uruchomiona w październiku 2015 roku.

3. Farmaceutyki i zagrożenia mikrobiologiczne

Obecnie w wyniku coraz bardziej konsumpcyjnego stylu życia i zmiany nawyków społecznych realne stają się nowe zagrożenia dla ekosystemów wodnych. Takim istotnym zagrożeniem są farmaceutyki oraz środki hormonalne (biomimetyki hormonalne), których „spożycie” w ostatnich latach gwałtownie rośnie. Ponieważ stosowane techniki oczyszczania ścieków i uzdatniania wody nie eliminują tych substancji, przedostają się one ze ściekami oczyszczonymi do wód powierzchniowych, po czym zawracane są z uzdatnioną wodą do sieci wodociągowej [17]. Substancje te mają też negatywny wpływ na stan ekosystemów wodnych.

Rozwiązaniem tego problemu jest wprowadzanie do układów technologicznych oczyszczalni ścieków bardziej zaawansowanych technologii doczyszczania ścieków przy wykorzystaniu technik membranowych bądź procesów pogłębionego utleniania (AOP – *Advanced Oxidation Processes*). Procesy AOP stosowane są już do degradacji nierozkładalnych na drodze bio-

logicznej zanieczyszczeń zawartych w ściekach przemysłowych, odciekach składowiskowych, a także zanieczyszczonych wodach podziemnych. W wyniku stosowania procesów AOP generowane są rodniki hydroksylowe o bardzo wysokim potencjale utleniającym, które degradują skutecznie tego typu substancje. Niezbędne są badania optymalizacyjne przed zastosowaniem wymienionych procesów w oczyszczalniach komunalnych pod kątem minimalizacji kosztów, doboru najkorzystniejszych parametrów technologicznych oraz opracowania niezawodnych systemów sterowania.

Ze stosowaniem farmaceutyków związany jest problem lekooporności bakterii zasiedlających ekosystemy wodne. Do podstawowych przyczyn należy zbyt duże zużycie antybiotyków oraz nieprawidłowa struktura zużycia leków przeciwdrobnoustrojowych. Polska należy do krajów o szczególnie dużym zużyciu antybiotyków, które powszechnie przepisuje się w leczeniu zakażeń wirusowych. Pozostałości farmaceutyków, stanowiące zwykle niezmetabolizowane w organizmie frakcje, trafiają do ścieków komunalnych, gdzie tylko częściowo są eliminowane w oczyszczalniach. Cała reszta trafia z oczyszczonymi ściekami do wód powierzchniowych. Skutkuje to występowaniem coraz większej ilości różnorodnych opornych szczepów bakteryjnych [18]. Obecnie narastanie oporności bakterii na antybiotyki staje się problemem globalnym. W celu rozwiązania problemów związanych z zagadnieniami lekooporności oraz wyeliminowania zanieczyszczeń bakteriologicznych w procesie oczyszczania ścieków, a tym samym zagrożeń wynikających z przedostawiania się do środowiska wodnego bakterii chorobotwórczych ze ściekami oczyszczonymi, należy zacząć wprowadzać procesy dezynfekcji ścieków np. za pomocą wysoko sprawnych systemów UV. Wymaga to jednak podjęcia szczegółowych badań w tym kierunku.

4. Oczyszczalnia zero-energetyczna

W polskich oczyszczalniach z roku na rok w procesach oczyszczania ścieków powstaje coraz więcej osadów ściekowych. Obecnie rocznie w Polsce powstaje ponad 650 tys. Mg s.m. osadów w oczyszczalniach komunalnych. Przewiduje się, że w 2020 roku w oczyszczalniach komunalnych wygenerowane zostanie ponad 780 tys. Mg s.m. osadów ściekowych [19]. Dzięki temu, a także w wyniku możliwości intensyfikacji produkcji biogazu i rosnącej sprawności agregatów kogeneracyjnych, coraz więcej oczyszczalni zaczyna wytwarzać zarówno ciepło, jak i energię elektryczną w procesie kogeneracji i w coraz większym stopniu zabezpieczać własne potrzeby energetyczne. Jedna ze śląskich oczyszczalni już w 2012 roku przekroczyła 100%, zaś tylko w pierwszym półroczu 2015 roku wyprodukowała energię elektryczną w ilości 150% swojego zapotrzebowania [19]. Wynika z tego, że oczyszczalnie ścieków mogą stawać się kombinatami technologiczno-energetycznymi [20].

Działania zmierzające do poprawy efektywności energetycznej całej oczyszczalni ścieków nie mogą być jednak ukierunkowane tylko na bezpośrednią intensyfikację produkcji i wykorzystania biogazu. W tak skomplikowanych obiektach, jak nowoczesne oczyszczalnie ścieków, możliwości w tym zakresie są znacznie większe. Wymieć można chociażby optymalizację systemów napowietrzania i mieszania w komorach osadu

czynnego, wymianę energochłonnych urządzeń na energooszczędne, wprowadzanie niestandardowych rozwiązań, jak np. wykorzystanie energii zawartej w ściekach (pompy ciepła), wykorzystanie wolnego terenu na oczyszczalni do instalowania ogniw fotowoltaicznych czy też rozważenie możliwości zainstalowania minielektrowni wodnej na odpływie ścieków (potrzebna odpowiednia różnica poziomów między wylotem ścieków a odbiornikiem). Kolejnym elementem może być wprowadzanie zgazowania osadów ściekowych i wykorzystanie powstającego gazu (H i CO) do celów energetycznych. Te wszystkie działania powinny zmierzać do opracowania kompleksowych rozwiązań dla powstania oczyszczalni zero-energetycznej, czyli samowystarczalnej pod kątem energetycznym. W tym zakresie potrzebna jest jednak wiedza specjalistów nie tylko z zakresu inżynierii środowiska, ale także z szeroko rozumianej energetyki. Interdyscyplinarna współpraca naukowców z obu tych dziedzin może stworzyć nową jakość w inżynierii środowiska. Będzie to również wymagało opracowania precyzyjnych systemów zarządzania i sterowania wszystkimi procesami jednostkowymi w oczyszczalni dla optymalnego wydatkowania i pozyskiwania energii.

5. Współpraca między sektorem nauki i gospodarki

Jednym z głównych problemów opracowywania i wdrażania innowacyjnych technologii jest brak zaawansowanej, długofalowej współpracy sektora nauki i gospodarki oraz biznesu. W efekcie eksploatatorzy oczyszczalni szukają kontaktów z sektorem nauki głównie wtedy, kiedy jest do rozwiązania konkretny problem. Jednak zauważa się znaczną poprawę w tej kwestii. Coraz więcej przedsiębiorstw komunalnych eksploatujących oczyszczalnie ścieków zmienia podejście do zagadnień innowacyjności, inwestując w badania własne, zlecając ekspertyzy, a także składając wspólne projekty z jednostkami naukowymi w celu rozwiązania określonych problemów. Jednak są to działania niewystarczające. Należy w skali ogólnopolskiej określić strategiczne potrzeby w zakresie rozwoju technologii oczyszczania ścieków i w tym celu stworzyć konsorcja badawcze złożone z zespołów naukowców z różnych ośrodków mających doświadczenia we współpracy z sektorem komunalnym i przedstawicielami gospodarki. Wynikiem prac takich zespołów powinno być między innymi określenie potrzeb w zakresie wprowadzania innowacyjnych rozwiązań w technologii oczyszczania ścieków, a także wytycznych dla inwestorów do ich stosowania w polskich oczyszczalniach ścieków. Rezultaty działania wspomnianych zespołów badawczych powinny następnie zostać wdrożone w wybranych oczyszczalniach, które stałyby się obiektami referencyjnymi i niejako doświadczalnymi dla kolejnych wdrożeń [4].

W opisaną powyżej strategię bardzo dobrze wpisuje się powołanie przez Departament Innowacji i Przemysłu w Ministerstwie Gospodarki tzw. Krajowych Inteligentnych Specjalizacji KIS (priorytety krajowe w obszarze B+R+I) [21]. Strategia inteligentnej specjalizacji polega na określeniu priorytetów gospodarczych w obszarze B+R+I oraz skupieniu inwestycji w obszarach zapewniających zwiększenie wartości dodanej gospodarki i jej konkurencyjności na rynkach zagranicznych. Wdrażanie KIS odbywa się zarówno poprzez realizację programów krajo-

wych (np. projekty NCBiR, PARP), jak i przy wykorzystaniu środków unijnych w ramach programów operacyjnych, głównie Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (PO IR) [22]. Inteligentne specjalizacje mają przyczynić się do transformacji gospodarki krajowej poprzez jej unowocześnienie, przekształcanie strukturalne, zróżnicowanie produktów i usług oraz tworzenie innowacyjnych rozwiązań społeczno-gospodarczych, również wspierających transformację w kierunku gospodarki efektywnie wykorzystującej zasoby, w tym surowce naturalne.

W celu przyjęcia kryteriów innowacji i rozwoju danej specjalizacji, monitorowania efektów oraz stanu realizacji poszczególnych celów strategicznych i szczegółowych, a także rekomendowania zmian w systemie wdrażania innowacji, Ministerstwo Gospodarki powołało grupy robocze. W szeroko rozumianym obszarze „wodnym” funkcjonuje grupa robocza KIS-12. W skład tej grupy wchodzi przedstawiciele wyższych uczelni, przedsiębiorstw, instytucji otoczenia biznesu oraz instytutów naukowo-badawczych. W ramach działań grupy KIS-12 przyjęto podział zagadnień na 3 obszary: woda, ścieki i osady oraz inżynieria komunalna.

Z logiką i filozofią Krajowych Inteligentnych Specjalizacji wiąże się także kolejna inicjatywa, jaką jest utworzenie – w Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowanych w Katowicach – Jednostki Weryfikującej Technologię Środowiskowe (JWTŚ), która zaczyna działać w ramach Pilotażowego Programu UE (ETV – *Environmental Technology Verification*) w obszarze rozwiązań na rzecz oczyszczania ścieków i uzdatniania wody [23]. JWTŚ jest głównym organem przeprowadzającym weryfikację, który funkcjonuje jako jednostka o najwyższym stopniu bezstronności. Jednostka (JWTŚ) prowadzi działalność inspekcyjną polegającą na weryfikacji, czy deklaracje producentów technologii dotyczące działania/sprawności innowacyjnych technologii są zgodne z prawdą, kompletne i oparte na rzetelnych wynikach badań. Celem weryfikacji technologii środowiskowych jest promocja tych technologii poprzez zapewnienie twórcom technologii, producentom i inwestorom dostępu do potwierdzenia przez stronę trzecią innowacyjności technologii. Producentom tych rozwiązań weryfikacja pomoże udowodnić rzetelność deklaracji działania tych technologii, natomiast nabywcom ułatwi znalezienie rozwiązań odpowiadających ich potrzebom. Oczekuje się, że to podejście spowoduje przyspieszenie komercjalizacji i upowszechnianie innowacyjnych technologii środowiskowych.


6. Podsumowanie

Rozwój współpracy między naukowcami z wyższych uczelni i instytutów naukowych oraz przedstawicielami gospodarki i sektora komunalnego jest jednym z kluczowych aspektów dla określania kierunków rozwoju innowacyjnych technologii oczyszczania ścieków. Powołanie przez Ministerstwo Gospodarki zespołów eksperckich w ramach Krajowych Inteligentnych Specjalizacji stworzyło podstawy do określenia kryteriów i zakresu wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych i technicznych w obszarze gospodarki wodno-ściekowej. W wyniku działania zespołów eksperckich są opracowywane wytyczne do realizacji projektów badawczych ukierunkowanych na tworzenie innowacyjnych rozwiązań w szeroko rozumianym

obszarze wody, ścieków i osadów ściekowych. Istotnym elementem tej strategii są też eksploatatorzy oczyszczalni ścieków, którzy powinni być bardziej otwarci na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, a także producenci niezawodnych i wysoko sprawnych urządzeń oraz systemów sterowania. W efekcie wdrażania innowacyjnych rozwiązań coraz więcej oczyszczalni ścieków nie tylko będzie spełniało funkcję technologiczną związaną z efektywnym oczyszczaniem ścieków i unieszkodliwianiem osadów ściekowych, ale będzie także obiektami produkującymi coraz wydajniej energię elektryczną i ciepło. Docelowo należy dążyć do kompleksowych rozwiązań, które doprowadzą do stworzenia oczyszczalni zero-energetycznej. Dotyczy to szczególnie dużych i bardzo dużych oczyszczalni.

Literatura

- [1] Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju 2030. Trzecia fala nowoczesności. Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji. Warszawa 9 listopada 2012 r.
- [2] Strategia Rozwoju Kraju 2020 – Aktywne społeczeństwo, konkurencyjna gospodarka, sprawne państwo, Warszawa, wrzesień 2012. „Monitor Polski” Warszawa dnia 22 listopada 2012 r., poz. 882.
- [3] Strategiczna Agenda Innowacji dla Zielonych Technologii w perspektywie finansowej 2014–2020. Dokument Polska Platforma Ekoinnowacji 2013.
- [4] GUMIŃSKA J., BARBUSIŃSKI K.: *Kierunki rozwoju innowacyjnych technologii oczyszczania wody i ścieków w perspektywie 2015–2020. Aktualne Zagadnienia w Inżynierii Środowiska* (Barbusiński K. red.). Monografia. Politechnika Śląska, Gliwice 2015, s. 119–130.
- [5] BARBUSIŃSKI K.: *Coś więcej niż osad – produkcja i wykorzystanie biogazu z osadów ściekowych*. „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 6/2015, s. 18–22.
- [6] BARBUSIŃSKI K., PIECZYKOLAN B.: *Fermentacja osadów ściekowych – Podstawy procesu i przykłady wykorzystania biogazu w oczyszczalniach ścieków województwa śląskiego* (Monografia). Wyd. Europejskie Forum Odpowiedzialności Ekologicznej. Katowice 2014.
- [7] JĘDRZAK A.: *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. PWN, Warszawa 2007.
- [8] SOSNOWSKI P., WIECZOREK A., LEDAKOWICZ S.: *Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes*. „Advances in Environmental Research” vol. 7/2003, pp. 609–616.
- [9] PEEP PITK, PRASAD KAPARAJU, JORDI PALATSI, RIM AFFES, RAIVO VILU: *Co-digestion of sewage sludge and sterilized solid slaughterhouse waste: Methane production efficiency and process limitations*. „Biores. Technol.” vol. 134/2013, pp. 227–232.
- [10] XIAO LIU, WEI WANG, YUNCHUN SHI, LEI ZHENG, XINGBAO GAO, WEI QIAO, YINGJUN ZHOU: *Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste and waste activated sludge in China: Effect of organic loading rate*. „Waste Management” vol. 32/2012, pp. 2056–2060.
- [11] TAIRA HIDAKA, SAYURI ARAI, SEIICHIRO OKAMOTO, TSUTOMU UCHIDA: *Anaerobic co-digestion of sewage sludge with shredded grass from public green spaces*. „Biores. Technol.” vol. 130/2013, pp. 667–672.
- [12] IACOVIDOU E., OHANDJA D.-G., VOULVOULIS N.: *Food waste co-digestion with sewage sludge – Realising its potential in the UK*. „Journal of Environmental Management” vol. 112/2012, pp. 267–274.
- [13] XINYUAN LIU, RUYING LI, MIN JI, LI HAN: *Hydrogen and methane production by co-digestion of waste activated sludge and food waste in the two-stage fermentation process: Substrate conversion and energy yield*. „Biores. Technol.” vol. 146/2013, pp. 317–323.
- [14] PASTOR L., RUIZ L., A. PASCUAL A., RUIZ B.: *Co-digestion of used oils and urban landfill leachates with sewage sludge and the effect on the biogas production*. „Applied Energy” vol. 107/2013, pp. 438–445.
- [15] VOLCKE E.I.P.: *Modelling, analysis and control of partial nitrification in a SHARON reactor*. PhD thesis. Ghent University, Belgium, pp. 300 (2006).
- [16] VAN LOOSDRECHT M.: *Innovative N-removal processes*. Delft University of Technology. Presentation, (<http://www.lifeleachate.com/docs/VanLoodsrecht.pdf>)
- [17] BARBUSIŃSKI K., JOPERT A.: *Występowanie farmaceutyków i środków higieny osobistej w ściekach oraz wodach powierzchniowych*. „Forum Eksploatatora” 3/2011, s. 52–55.
- [18] BARBUSIŃSKI K., NALEWAJEK T.: *Oporność szczepów Escherichia coli na wybrane antybiotyki w ściekach komunalnych*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 11/2011, s. 442–446.
- [19] GIELECIAK Z.: *Potencjał energetyczny ścieków*. Prezentacja wygłoszona na Konferencji „Przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne wczoraj, dziś i jutro”. AQUA SA, Szczyrk 2015.
- [20] WOJTACHNIO K.: *Nowoczesne technologie w inżynierii środowiska*. „Biuletyn Politechniki Śląskiej” 12/2015, s. 4–6.
- [21] KIS – Krajowe Inteligentne Specjalizacje. Materiały informacyjne Departamentu Innowacji i Przemysłu Ministerstwa Gospodarki. Warszawa 2015.
- [22] Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, 2014–2020. Projekt 1.0. Warszawa, kwiecień 2013.
- [23] Przewodnik dla wnioskodawców pilotażowego programu Weryfikacji Technologii Środowiskowych (ETV) Unii Europejskiej. AdvanceETV, Katowice 2012.

 prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

artykuł recenzowany

reklama

