

## WPŁYW REGULACJI PRAWNYCH NA ROZWÓJ TECHNOLOGII OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW I ZAGOSPODAROWANIA OSADÓW

### REGULATORY ACTS INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT AND SLUDGE DISPOSAL

*European the United States water policy is mainly based on water pollution control acts with a key aim to achieve a good status for inland surface and groundwater, as well as marine water control. Water pollution control is based on water management on river basins mainly. The present policy on water pollution management relates to protecting water quality mainly, however a future water policy will be connected with control of water quality at the least cost due to innovations. The purpose of this paper is to provide an introduction to modern water pollution control and to indicate an importance of new ideas, and regulatory acts as creation of innovative solutions particularly. It is shown using a history of the development and practical application of activated sludge for communal and industrial wastewater treatment as an example.*

#### 1. Wprowadzenie

Prawo wodne w wielu państwach, będące podstawowym instrumentem polityki państwa w gospodarce wodnej, spełnia również szereg funkcji w dziedzinie ochrony wód przed zanieczyszczeniami, a w wielu przypadkach również funkcję kreowania i wdrażania postępu techniczno-technologicznego oraz innowacyjnych rozwiązań, szczególnie w oczyszczaniu ścieków i przeróbce osadów ściekowych.

Należy przypomnieć, że dopiero w połowie XVIII wieku w Europie zdano sobie sprawę ze skutków nie oczyszczania lub niewłaściwego oczyszczania ścieków i ich wpływów na zaopatrzenie ludności w wodę, które wywoływały wiele chorób i epidemii związanych z wodą. Powyższe spowodowało znaczny wzrost zainteresowania oczyszczaniem ścieków w wielu państwach, w których zaczęły pojawiać się różne metody ich oczyszczania.

## 2. Pierwsze Prawo ochrony wód w Anglii

W tym czasie, pod względem rozwiązań instytucjonalnych i prawnych związanych z ochroną wód zaczęła przewodzić Anglia, gdzie już w 1865 roku została powołana Królewska Komisja ds. Zanieczyszczenia Rzek, następnie reaktywowana w 1874 roku. W wyniku działalności tej komisji, w roku 1876, wydany został Akt Zapobiegania Zanieczyszczeniu Rzek, w którym niestety nie zaproponowano rozwiązań technicznych uniemożliwiających dalszą degradację wód. Dlatego w roku 1898 powołano Królewską Komisję ds. Unieszkodliwiania Ścieków Komunalnych, która w 1908 roku nie tylko zarekomendowała test BZT5 (5-dobowego Biologicznego Zapotrzebowania Tlenu) do praktycznego stosowania, ale również w 1912 roku przyjęła znane standardy jakości odpływu ścieków (30 : 20 + pełna nityfikacja). Wprowadzenie w życie powyższych standardów wymagało zastosowania nowych rozwiązań technologicznych dla oczyszczania ścieków w Anglii i w różnych państwach, w tym w USA. Należy dodać, że w USA, przyjęły standardy dla wody do picia w 1912 roku.

## 3. Odkrycie metody osadu czynnego

Na tym tle, interesująca jest historia rozwoju jednej z głównych metod biologicznego oczyszczania ścieków-metody osadu czynnego [1]. W Europie, jednym z inicjatorów badań nad oczyszczaniem ścieków był dr Gilbert Fowler z Uniwersytetu Manchester, który jako konsultant Korporacji Manchesteru wizytował w USA słynną wówczas Eksperymentalną Stację Badawczą w Lawrence, Massachusetts, prowadzącą między innymi badania nad napowietrzaniem ścieków komunalnych. Po powrocie z USA do Anglii, poinformował o tych eksperymentach mgr Edwarda Ardena - chemika pracującego na oczyszczalni ścieków Davyhulme dla Manchesteru oraz mgr Williama Locketta - jego współpracownika, sugerując powtórzenie tych eksperymentów. Eksperymenty te zostały przygotowane i przeprowadzone, zgodnie z rekomendacjami dr G. Fowlera, w skali laboratoryjnej, a biomasa wytworzona ze ścieków i organizmów, podczas napowietrzania, została nazwana osadem czynnym.

Edward Arden i William T. Lockett przedstawili powyższą metodę biologicznego oczyszczania ścieków w referacie pt. „Eksperymenty nad natlenianiem ścieków bytowo-gospodarczych bez pomocy złóż biologicznych” ogłoszonym w dniu 3 kwietnia 1914 roku w Grand Hotelu w Manchesterze. Referat ten został opublikowany przez Towarzystwo Przemysłu Chemicznego, w trzech słynnych publikacjach [2], [3], [4]. Zwraca uwagę odniesienie się w tytule powyższego referatu do złóż biologicznych - innej, znanej wówczas, konkurencyjnej metody biologicznego oczyszczania ścieków (z błoną biologiczną), która w tym czasie była powszechnie stosowana.

## 4. Zastosowanie metody osadu czynnego

Odkrycie nowej metody- osadu czynnego było ściśle związane z połączeniem nauki i praktyki. Nie tylko dr G. Fowler, ale również praktycy E. Arden i W. Lockett doskonale rozumieли znaczenie eksperymentów i rolę biomasy, znanej obecnie jako osad czynny (ang. activated sludge). Publikacje Edwarda Ardena i Williama Locketta zapoczątkowały dynamiczny rozwój badań nad metodą osadu czynnego. Świadczyć o tym może przykładowo fakt, że już w siedem lat po publikacjach Ardena i Locketta, w publikacji J. Edwarda Portera [5] odniesiono się do blisko 600 pozycji literaturowych związanych z osadem czynnym.

W 1914 roku, metodę osadu czynnego badano na oczyszczalni ścieków Davyhulme, w skali pełnej technicznej, jako proces o ciągłym przepływie z osadnikami wtórnymi oraz w skali pilotowej jako proces sekwencyjny porcjowy, znany obecnie pod nazwą SBR. W 1916 roku, otworzono w mieście Worcester pierwszą komunalną oczyszczalnię w skali pełnej technicznej, opartą o reaktory przepływowe z osadem czynnym, zbudowaną przez firmę Jones & Attwood Ltd. Jednak zastosowane dyfuzory zatykały się, co spowodowało intensywne prace nad różnymi rodzajami urządzeń do napowietrzania.

W USA, pierwsza eksperymentalna komunalna oczyszczalnia, oparta o metodę osadu czynnego, powstała tylko rok później niż w Anglii, bowiem została zbudowana w 1915. W latach 1916-1927 wybudowano tam 10 dużych komunalnych oczyszczalni z metodą osadu czynnego, w tym przykładowo oczyszczalnie w: Milwaukee (1916), Houston Texas North (1917), Houston Texas South (1918), Des Plaines, Illinois (1922), Chicago North (1927). W Rosji, prace badawcze nad metodą osadu czynnego rozpoczęto już w 1915 roku. W latach 1926-1927, wybudowano w Lublino pod Moskwą oczyszczalnię eksperymentalną, a na bazie tych badań prof. S.N. Stroganow zaprojektował oczyszczalnię kożuchowską, która została oddana do eksploatacji 1929 roku.

W USA, w 1922 roku, metodę osadu czynnego opisali Leonard Metcalf i Harrison P. Eddy w podręczniku o kanalizacji i unieszkodliwianiu ścieków [6]. Natomiast w Wielkiej Brytanii, wspinając książkę o procesie osadu czynnego w roku 1927 opublikował Arthur J. Maritin [7]. W Polsce, proces osadu czynnego pierwszy opisał dr A. Palewicz w dwóch referatach: w 1926 roku na IV Zjeździe Higienistów Polskich w Wilnie, a następnie w 1927 roku na IV Zjeździe Lekarzy i Działaczy Sanitarnych Miejskich w Łodzi, nazywając osad czynny- mułem aktywnym. Pierwszą książkę o metodzie osadu czynnego wydał A. Safarewicz w 1926 roku w Wilnie. Jednak pierwsza oczyszczalnia, oparta o metodę osadu czynnego, z napowietrzaniem mieszadłami Hawortha, powstała dopiero w 1937 roku w Kielcach. Książka prof. Jerzego Garczarczyka (1935-2013) o metodzie osadu czynnego została wydana przez Wydawnictwo Arkady w 1966 roku [8] oraz następna, w języku angielskim, przez Wydawnictwo M. Dekker w 1983 [9]. Należy dodać, że w latach 80-90 XX wieku, prof. dr hab. inż. J. Garczarczyk, pracując na Uniwersytecie Toronto, wniósł wkład do teorii osadu czynnego w stosunku do jego struktury, wykorzystując do badań systemy analizy obrazów.

## 5. Rozwój metody osadu czynnego i modelowanie matematyczne

Oprócz zastosowania różnych modyfikacji metody osadu czynnego do oczyszczania ścieków komunalnych rozpoczęto stosowanie tej metody również do oczyszczania ścieków przemysłowych. Pionierem badań nad oczyszczaniem ścieków przemysłowych, za pomocą osadu czynnego, był w USA prof. dr inż. W. Wesley Eckenfelder Jr. (1926- 2010 ). Jego pierwszą książką, wśród ponad 30 wydanych, napisaną razem z D. J. O'Connorem w 1961 roku, było „Biologiczne oczyszczanie ścieków” [10], a drugą „Ochrona wód przed zanieczyszczeniem w przemyśle” [11], wydana w 1966 roku, w których wprowadził do praktyki inżynierskiej uproszczone kinetyczne równania matematyczne, stanowiące podstawę do obliczeń technologicznych dla osadu czynnego. Stworzył również, wraz z dr inż. Jackiem L. Mustermanem, kinetyczne podstawy osadu czynnego dla usuwania substancji organicznych ze ścieków przemysłowych [12], które rozszerzył w książce „Jakość wody przemysłowej”, napisanej wraz dr inż. Davisem L. Fordem i prof. dr inż.

Andrew J. Englande [13]. W 1999 roku, prof. W.W. Eckenfelder za swoją działalność otrzymał zaszczytny tytuł „Pioniera XX wieku Ochrony przed Zanieczyszczeniem”, nadany przez magazyn o światowym zasięgu „Environmental Protection”.

Natomiast w Europie, nie można nie docenić wcześniejszego znacznego wkładu w ochronę wód inżynierów, takich jak: brytyjski inżynier William Lindley (1808-1900) i jego trzej synowie, w tym William Heerlein Lindley (1853-1917) – budowniczych systemów wodociągowo-kanalizacyjnych, niemiecki inżynier Karl Ludwig Imhoff (1876-1965) i jego syn prof. dr inż. Klaus R. Imhoff – autorzy słynnego poradnika o kanalizacji i oczyszczaniu ścieków, czy prof. Zygmunt Rudolf, dr hc. Politechniki Warszawskiej (1897-1990) – absolwent Uniwersytetu Harvarda i twórca inżynierii sanitarnej w Polsce. Również wiele osób, w państwach europejskich, przyczyniło się do rozwoju metody osadu czynnego, w tym przykładowo takie postacie świata nauki i praktyki jak: Paul Benedek (Węgry), Wilhelm von der Emde (Austria), K. Wuhrman (Szwajcaria), J. Chudoba (Czechy), czy Jerzy Rybiński (Polska).

Wraz z badaniami, w skali pilotowymi i w skali pełnej technicznej, nad metodami biologicznego oczyszczania ścieków, zaczęło rozwijać się modelowanie procesów biologicznego oczyszczania, w tym procesu osadu czynnego. Jedną z pierwszych zbiorowych prac w tym zakresie, o charakterze międzynarodowym, była książka „Modele matematyczne biologicznego oczyszczania ścieków” (red. S.E. Jorgensen i M. Gromiec) wydana w 1985 roku przez Elsevier [14]. Od tego czasu, nastąpił znaczny rozwój modelowania biologicznych procesów oczyszczania ścieków, w tym nawet modelowania dynamicznego [15]. Zasadniczy wkład do modelowania osadu czynnego wniósł Zespół Zadaniowy Międzynarodowego Stowarzyszenia Badania Zanieczyszczenia Wody i Ochrony Wód (ang. International Association on Water Pollution Research and Control-IWAPRC), obecnie Międzynarodowe Stowarzyszenie Wody (ang. International Water Association - IWA). Przełomem było opracowanie przez ten zespół Modelu Osadu Czynnego Nr 1 (ang. Activated Sludge Model No.1, ASM1) [16], a następnie jego kolejnych modyfikacji [17]. Wkładem polskim w modelowanie procesów osadu czynnego są przykładowo książki prof. dr hab. inż. Jacka Mąkini [18] i prof. dr hab. inż. Ewy Siwarskiej-Bizukojć [19].

## 6. Dalszy rozwój prawodawstwa ochrony wód

Wiek XX przyniósł znaczny rozwój prawodawstwa z dziedziny ochrony wód, zwłaszcza w USA, gdzie pierwsze Prawo ochrony wód istniało już od 1948 roku, wydane przez Federalną Agencję Ochrony Wód (ang. Water Pollution Control Agency - FWPCA P.L. 80-845, 62 stat.1155). W dniu 2 grudnia 1970 roku utworzono Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (ang. U.S. Environmental Protection Agency - U.S. EPA), co spowodowało zasadnicze zmiany w planowaniu i projektowaniu oczyszczalni ścieków. Najważniejszym amerykańskim aktem prawnym związanym z gospodarką ściekową była jednak nowelizacja Prawa ochrony wód, która nastąpiła w 1972 roku pod nazwą Prawo czystej wody (ang. CleanWater Act- CWA, P.L. 92-500), która ustanowiła Narodowy System Eliminacji Odprowadzanego Zanieczyszczenia ( ang. National Pollution Elimination Discharge System-NPDES). Ustawa ta określiła konkretne cele ochrony wód niezbędne dla poprawy i utrzymania chemicznej, fizycznej i biologicznej integralności amerykańskich wód oraz wprowadziła program pozwoleń oparty o minimalne standardy dla biologicznego oczyszczania ścieków. Następną nowelizacją z 1987 roku, zwana Prawem jakości wody zaostriżyła dotychczasowe regulacje prawne wprowadzając ostre kary załamanie warunków pozwoleń oraz uregulowała sprawę identyfikacji i ograniczenia zanieczyszczeń toksycznych w osadach ściekowych. Ważnym jest też przyznanie środków budżetowych na badania nad źródłami zanieczyszczeń toksycznych i zanieczyszczeń obszarowych. Dalsze regulacje prawne związane z osadami ściekowymi wprowadzono w 1993 roku (40 CFR p. 503), natomiast dotyczące narodowej kontroli przelewów burzowych w roku 1994. Interesującym jest, że program dotyczący praktycznego wprowadzenia uregulowań dotyczących tzw. maksymalnych dobowych ładunków dla zanieczyszczeń punktowych i zanieczyszczeń obszarowych, z uwzględnieniem naturalnego tła zanieczyszczeń i marginesu bezpieczeństwa, został wprowadzony przez U.S. EPA w 2000 roku (CWA Sec. 303d).

W Europie, od połowy lat 70-tych XX wieku wydano we Europejskiej Wspólnocie Gospodarczej (EWG) wiele dyrektyw Rady związanych z problematyką ochrony wód. W dniu 22 grudnia 2000 roku weszła w życie, w państwach członkowskich Unii Europejskiej, Rammowa Dyrektywa Wodna (RDW, 2000/60/UE) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku. Stanowiła kamień milowy dla ustanowienia ram dla nowoczesnej ochrony wód przed zanieczyszczeniami. RDW położyła nacisk między innymi na zapobieganie dalszej degradacji wód i na poprawę stanu ekosystemów wodnych poprzez ujęcie ochrony wód oparte o zlewnie rzek i spełnienie wyznaczonych celów środowiskowych. Przyjęto tzw. podejście łączone, ograniczające zanieczyszczenia u źródła ich powstawania przez ustanowienie norm jakości zrzucanych ścieków (wartości granicznych emisji) oraz ustanawiająca normy (stany) jakości wód dla zasobów, w którym założono, że w każdym przypadku ma obowiązywać to rozwiązanie, które jest ostrzejsze. Głównym celem RDW jest osiągnięcie zdefiniowanego dobrego stanu wód w całej Wspólnocie. Dlatego też w państwach członkowskich Unii Europejskiej opracowywane są programy działań dla wartości granicznych, kontrolujących emisje ze źródeł punktowych, oraz dla standardów jakości środowiska wodnego, aby ograniczyć łączny wpływ emisji ze źródeł punktowych i ze źródeł obszarowych. Ważnym punktem RDW jest włączenie całego społeczeństwa w ochronę wód, poprzez dostęp do informacji oraz konsultacje społeczne [20].

W Polsce, jeszcze w okresie przed członkowskim w Unii Europejskiej, opracowano podstawy naukowe wyboru strategii ochrony krajowych zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem, oparte o projekt RDW, w ramach projektu zamówionego przez Ministra Środowiska w Komitecie Badań Naukowych i zrealizowanego w latach 1996-1997 [21]. Opracowano wówczas szereg strategii cząstkowych dla zanieczyszczeń: komunalnych, toksycznych, azotu, fosforu, wybranych gałęzi przemysłu, zasolenia wód, obszarowych ścieków wiejskich, wód podziemnych, stanowiących podstawę strategii ogólnej ochrony wód. Oparty na strategii i działaniach ograniczających ładunki zanieczyszczeń komunalnych został opracowany Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), stanowiący wyraz wdrażania zapisów Traktatu Akcesyjnego Polski do Wspólnoty Europejskiej i postanowień dyrektywy 91/271/EWG w sprawie oczyszczania ścieków komunalnych.

Realizacja postanowień RDW, szczególnie w zakresie planowania ochrony wód, wymagała zastosowania modeli matematycznych jakości wód. Związane to jest z oceną stanu zanieczyszczenia wód powierzchniowych oraz ustaleniem wymaganego stopnia oczyszczania ścieków w zlewniach rzek. Warto wspomnieć, że w USA, H.W. Streeter i E.W. Phelps skonstruowali już, w roku 1925, pierwszy matematyczny model jakości wody dla wód powierzchniowych płynących. Model ten zapoczątkował rozwój modelowania matematycznego jakości zasobów wodnych, zwłaszcza od lat 60-tych XX wieku, między innymi na skutek intensywnego rozwoju systemów komputerowych i systemów informacji przestrzennej. Znaczną rolę w tym względzie odegrał Międzynarodowy Instytut Stosowanej Analizy Systemów (IIASA), który w latach 80-tych XX wieku (IIASS) opracował pierwszą monografię modelowania jakości wód, pod redakcją prof. dr inż. Gerarda T. Orloba [22], której również przedstawiono modelowanie wód płynących [23]. Obecnie, istnieje wiele możliwości praktycznego zastosowania modeli matematycznych jakości wód zintegrowanych z systemami informacji przestrzennej, a nawet z technikami teledetekcyjnymi [24].

W roku 2008, ukazała się Ramowa Dyrektywa w sprawie Strategii Morskiej - RDSM (2008/56/UE). Akty powyższe, RDW i RDSM, ustanawiając nowe cele jakości środowiska wodnego, powodują umiędzynarodowienie problemów jakości wody, rozszerzają zakres i zwiększają koszty ochrony wód, Związane jest to między innymi z rosnącymi wymaganiami w stosunku do wielkości ładunków zanieczyszczeń, szczególnie substancji biogennych i substancji niebezpiecznych, odprowadzanych do wód morskich. Wymaga to nie tylko usuwania substancji biogennych, ale również ich odzysku ze ścieków.



## 7. Usuwanie substancji biogenych

Dlatego w ciągu XX wieku metoda osadu czynnego była wielokrotnie modyfikowana, co związane było ze zmieniającymi się standardami dla jakości oczyszczanych ścieków. Początkowo uwaga była zwrócona tylko na usuwanie zawieszin oraz rozpuszczonych substancji organicznych, związków amonowych i patogenów. Nie ograniczyło to jednak eutrofizacji wód, zagrażającej również zaopatrzeniu w wodę, co spowodowało konieczność usuwania fosforu ogólnego i azotu ogólnego. Jednak na początku substancje fosforowe usuwane były tylko na drodze chemicznej za pomocą dodawanych koagulantów, co zwiększało powstawanie osadów.

Dopiero prace badawcze dr inż. Jamesa Barnarda, przeprowadzone na Uniwersytecie Tekساسu w Austin, pod kierunkiem prof. W.W. Eckenfeldera, umożliwiły biologiczne usuwanie miogenów, metodą osadu czynnego. Prace powyższe szybko zostały zastosowane w praktyce, ponieważ projektant Peter Mering i dr inż. James Bernard szybko zaprojektowali i zastosowali strefy beztlenowe na budowanej oczyszczalni z osadem czynnym dla Johannesburga, umożliwiające biologiczne usuwanie fosforu. Zapoczątkowało to rozwój różnych procesów do biologicznego usuwania fosforu i azotu metodą osadu czynnego [25]. Można do nich przykładowo zaliczyć rozwiązania: Bardenpho i zmodyfikowane Bardenpho, A2O, UTC, UCTM i inne.. Jednak, w przypadku wprowadzenia znacznie ostrzejszych standardów dla stężenia w odpływie azotu (poniżej 10 mg/dm<sup>3</sup> N całkowitego), szereg stosowanych procesów miało trudności w ich spełnieniu. Spowodowało to pojawienie się całkowicie nowych rozwiązań z osadem czynnym o różnych nazwach, przykładowo: Annammox, DeAmmon, Anita Mox, Demon i wiele innych. Powstawały też różnego rodzaju reaktorów hybrydowe wykorzystujące zarówno zalety biomasy zawieszanej, jak i błon biologicznych [26]. Równocześnie zaczęły powstać innowacyjne rozwiązania dla biologicznego oczyszczania ścieków charakteryzujących się znacznie mniejszym zapotrzebowaniem na energię elektryczną i wysoką efektywnością. Przykładem może być holenderska technologia tlenowego granulowanego osadu czynnego, czy też polska technologia z odgazowaniem osadu czynnego. Istotny postęp nastąpił w przeróbce i zagospodarowaniu osadów ściekowych, polegające na ich zagęszczaniu i odwadnianiu, a następnie ich termicznemu przekształcaniu za pomocą procesów suszenia i spalania.

## 8. Nowy paradygmat i gospodarka cyrkulacyjna

Wiek XXI przyniósł całkowicie nową sytuację dla oczyszczalni ścieków, związaną z nowym paradygmatem „NEW” (Nutriety- Energia- Woda). Idea tego paradygmatu została zaproponowana w USA w 2012 roku przez Narodowe Stowarzyszenie Agencji Czystej Wody, Federację Środowiska i Fundację Badania Środowiska Wodnego i przedstawiona przez Grupę Roboczą Federacji Środowiska Wodnego w 2014 roku. Związana jest z odzyskiem substancji biogenych, energii i wody ze ścieków i osadów ściekowych. Powoduje to, że oczyszczalnie, działające według tradycyjnego paradygmatu jakim jest oczyszczanie ścieków, oparte na istniejących przepisach prawnych, zaczynają przekształcać się w zakłady produkcji odzyskiwanych zasobów, w tym produkujących wodę ze ścieków, wodór, bioplastiki i substancje biogenne, szczególnie fosfor.

Celem staje się nie tylko zgodna z przepisami poprawa środowiska, ale również generowanie zysków i wynikające z tego korzyści społeczne. Ponieważ zastrzegające się przepisy ochrony zasobów wodnych znacznie zwiększają koszty ich ochrony, dlatego należy dążyć do maksymalizacji ochrony wód śródlądowych i morskich w zlewniach, dorzeczach i zlewiskach, przy najmniejszych kosztach społecznych, poprzez nowe idee, takie jak przykładowo nowy paradygmat „NEW”, i podążające za nimi nowe technologie.

Równocześnie, w 2014 roku, w Komunikacie Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów (COM 2014, 398 final) została przedstawiona koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (ang. circular economy). W Komunikacie powyższych struktur unijnych (COM 2015, 614 final) z 2015 roku przedstawiono plan działania w tym zakresie. Gospodarka cyrkulacyjna ma szczególnie zastosowanie w gospodarce odpadowej, ale również w gospodarce wodno-ściekowej i osadowej, ponieważ stwarza dla nich nowe szanse i jest inspiracją do innowacyjnych rozwiązań, szczególnie w odnowie wody ze ścieków oraz w zagospodarowaniu osadów ściekowych, z odzyskiem nutrietów, energii i wody. W tym względzie gospodarka o obiegu zamkniętym zbieżna jest z nowym paradygmatem „NEW” dla oczyszczalni ścieków [27].

## 9. Podsumowanie

Należy dodać, że szybkie zmiany cywilizacyjne powodują znaczne zmiany jakościowe powstających ścieków, co związane jest z powstającymi nowymi formami zanieczyszczeń odprowadzanych do wód. Zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi oraz dla biocenozy wód, stanowią między innymi: substancje toksyczne, organizmy chorobotwórcze i nowe rodzaje zanieczyszczeń związane przykładowo z substancjami farmakologicznymi i hormonami. Dlatego nowoczesne technologie muszą nadążać za powstawaniem coraz to nowych zanieczyszczeń i nowymi strategiami ochrony zasobów wodnych. Niewłaściwe zagospodarowanie powstających dużych ilości osadów ściekowych również zagraża życiu ludzi i zwierząt w związku z zagrożeniami chorobotwórczymi i możliwościami skażenia gleb metalami ciężkimi i substancjami toksycznymi.

Zastosowanie w praktyce technologii, takich jak hydroliza termiczna osadów lub technologia odzysku fosforu i azotu z odcieków pochodzących z przeróbki osadów ściekowych, powoduje, że mogą stanowić przykłady innowacyjnych zmian technologicznych, pozwalających na odzysk energii i substancji biogennych.

Na forach międzynarodowych pojawił się pogląd, że w bieżącym stuleciu problem wody, z uwagi na zachodzące zmiany demograficzne w miastach i zmiany klimatyczne, stał się jednym z najważniejszych problemów światowych. Papież Franciszek, w encyklice „Laudato Si” [28], uznał sprawę czystej wody do picia za sprawę najważniejszej wagi na świecie [29]. Globalnie, sprawy jakości wody nie rozwiąże się bez zmiany stylu życia ludzi i włączenia się całych społeczeństw w dbałość o czystą wodę,



Doniosłość udziału Ardena i Locketta w odkryciu metody osadu czynnego dla oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych oraz ochrony wód przed zanieczyszczeniami trudno przecenić. Można nawet twierdzić, że było to odkrycie epokowe, które umożliwiło dalszy rozwój ludzkości, szczególnie zamieszkującej w miastach. Bez tego odkrycia niemożliwe jest wyobrazić sobie współczesną ochronę wód przed zanieczyszczeniami. W 2014 roku, świat uczcił 100-letnią rocznicę odkrycia metody osadu czynnego, bowiem Międzynarodowe Stowarzyszenie Wody (IWA) zorganizowało specjalną międzynarodową konferencję [1] poświęconą temu zagadnieniu. W wielu miejscach na świecie wprowadzane są samodzielne akty prawne, odniesione tylko do ochrony wód przed zanieczyszczeniami z uwagi na jej coraz bardziej skomplikowaną materię.

Skutki zmian klimatycznych i rozwój cywilizacji, w tym wzrost ludności świata i szybka urbanizacja, powodują ciągle powstawanie nowych zagrożeń związanych z jakością wody [30]. Nowe formy zanieczyszczeń, w tym refrakcyjnych i związanych z substancjami farmakologicznymi, między innymi z antybiotykami, hormonami, estrogenami, chemioterapeutykami wymagają innowacyjnych rozwiązań technicznych i technologicznych, które winny być kreowane i wspomagane regulacjami prawnymi.

## Bibliografia

- 1) Jenkins D., Wanner J. (Eds.) : Activated Sludge- 100 Years and Counting. IWA Publishing, London 2014.
- 2) Ardern E., Lockett W.T.: Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aids of Filters, Part I. Journal of the Society Chemical Industry 33, 10, 523-539, 1914.
- 3) Ardern E., Lockett W.T.: Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aids of Filters, Part II. Journal of the Society Chemical Industry 33, 1122, 1914.
- 4) Ardern E., Lockett W.T.: Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aids of Filters, Part III. Journal of the Society of Chemical Industry 34, 937, 1915.
- 5) Porter J.E.: The Activated Sludge Process of Sewage Treatment- A Bibliography of the Subject. General Filtration Co, Inc., Rochester, N.Y., 1921 (Second Edition).
- 6) Metcalf L., Eddy P.H.: Sewerage and Sewage Disposal- A Textbook (First Edition). McGraw-Hill Book Company, New York 1922.
- 7) Martin A.J.: The Activated Sludge Process. Macdonald and Evans, London 1927.
- 8) Gańczarczyk J.: Oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego. Arkady, Warszawa 1969 (wyd.2).
- 9) Gańczarczyk J.J. : Activated Sludge Process: Theory and Practice. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1983.
- 10) Eckenfelder W. W., O'Connor D.J. : Biological Waste Treatment. Pergamon Press Oxford 1961.
- 11) Eckenfelder W. W. : Industrial Water Pollution Control. McGraw-Hill Book Co, New York 1966.
- 12) Eckenfelder W. W., Grau P: Activated Sludge Process Design and Control: Theory and Practice. Technomic Publishing Co., Lancaster- Basel 1992.
- 13) Eckenfelder W.W., Ford D.L., Endland A.J.: Industrial Water Quality. McGraw- Hill, New York, N.Y., 2009.
- 14) Jorgensen S.E., Gromiec M.J. (Eds): Mathematical Models in Biological Waste Water Treatment. Elsevier, Amsterdam- Oxford-New York- Tokyo 1985.
- 15) Dochain D., Vanrolleghem P.: Dynamic Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes. IWA Publishing, London 2001.
- 16) Henze M., Grady C.P.L, Gujer W., Marais G., V., R., Matsuo T.: Activated Sludge Model No.1. Scientific and Technical Report No.1. IAWPRQ, London 1987.
- 17) Henze M., Gujer W., Mino T., van Loosdrecht M.: Activated Sludge Models: ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. Scientific and Technical Report No.9. IWA Publishing, London 2000.
- 18) Mąkinia J.; Mathematical modeling and computer simulation of activated sludge systems. IWA Publishing, London 2011.
- 19) Liwarska-Bizukojć E.: Modelowanie procesów oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2014.
- 20) Gromiec M.J.: Polityka wodna Unii Europejskiej w Dyrektywie Ramowej 2000/60/UE i jej implikacje dla Polski. Monografie, Seria Wodociągi i Kanalizacja Nr 2, PZiTS, Warszawa 2002 (wyd.3).
- 21) Gromiec M.: Droga Polski do Europy w zlewniowej gospodarce wodnej. Gospodarka Wodna 59, 4, 128-132, 1999.

- 22) Orlob G.T. (Ed.) : *Mathematical Modeling of Water Quality: Streams, Lakes, and Reservoirs*. International Institute for Applied Systems Analysis. John Wiley & Sons Chichester- New York- Brisbane- Toronto- Singapore 1983.
- 23) Gromiec M.J., Lucks D.P. Orlob G.T.: *Stream Quality Modeling. Mathematical Modeling of Water Quality: Stream, Lakes, and reservoirs* (Ed. G.T. Orlob). International Institute for Applied Systems Analysis. John Wiley & Sons Chchester- New York- Brisbane- Toronto-Singapore 1893.
- 24) Gromiec M.: *Zastosowanie modeli matematycznych i systemów informatycznych a zlewniowej ochronie wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem*. Monografie IMGW, Warszawa 2008.
- 25) Randall C.W., Barnard J.L., Stensel H.D. (Eds): *Design and Retrofit of Wastewater Treatment plans for Biological Nutrient Removal*. Technomic Publishing Co., Lancaster-Basel 1992.
- 26) Metcalf & Eddy/Aecom: *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw- Hill, New York, NY 2014 (Fifth edition). Water Environment Federation: *Moving toward resource recovery facilities*. WEF, Alexandria 2014.
- 27) Gromiec M.: *Nowy paradygmat „Nutriety- Energia-Woda” (NEW) dla przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych*. W: *Zaopatrzenie w wodę, jakość* (Water Supply and Water Quality), red. Z. Dymaczewski J. Jeż-Walkowiak, A. Urbański. PZiTS- ODD. Wielopolski, Poznań, 2016.
- 28) *Ojciec Święty Franciszek: Encyklika Laudato Si - W trosce o wspólny dom*. Wydawnictwo M., Kraków 2015.
- 29) Gromiec M.: *Kwestia wody na tle problemów ekologicznych świata w encyklice Laudato Si*. *Gospodarka Wodna* 10, 281-281, 2015.
- 30) Gromiec M., Sadurski A., Zalewski M., Rowiński P.: *Zagrożenia związane z jakością wody*. *Polska Akademia Nauk, Nauka* 1, 99- 122, 2014.

