

Osad czynny w oczyszczaniu ścieków – historia odkrycia XX wieku

Eugeniusz Klaczyński

Koniec XIX i początek XX wieku to okres drugiej rewolucji przemysłowej, której impulsem jest szybki rozwój nauki i wprowadzenie nowych rozwiązań technicznych. Mechanizację produkcji powiązano z wdrażaniem nowych metod kierowania oraz standaryzacji, istotnych przy montażu coraz bardziej złożonych technologicznie urządzeń. W tym czasie nastąpiło przejście od stosowania maszyn parowych do silnika gazowego i elektrycznego, rozpoczęto produkcję aparatury chemicznej i elektrotechnicznej. Uruchomiono pierwsze elektryczne linie tramwajowe, taśmowo wytwarzano samochody, wynaleziono telefon i powszechnie wykorzystywano radio.

Wzrost gospodarczy zmienił poziom życia milionów ludzi. Populacja miejska zwiększała się w tempie wykładniczym, często z ubóstwa do standardu życia jakiego nigdy wcześniej nie doświadczono. Sytuacja była jednak daleka od ideału z powodu niehigienicznych warunków życia, niekorzystnie wpływających na zdrowie i środowisko naturalne. Średnia długość życia w tym okresie wynosiła około 45 do 50 lat, w porównaniu do 75-80 lat życia obecnie. Często podkreśla się, że dodatkowe dwadzieścia z trzydziestu lat życia, jakim cieszą się obecnie ludzie w krajach rozwiniętych, jest wynikiem powstania systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w XX wieku. Specjaliści zdrowia publicznego w *British Medical Journal* wykazali, że wdrożenie nowoczesnej gospodarki wodno-ściekowej jest najważniejszym krokiem, który poprawił zdrowie publiczne w ciągu ostatnich 150 lat [1].

Budowa sieci wodociągowych zapewniła wodę bezpieczną do picia i spowodowała pokaźne zwiększenie ilości zanieczyszczeń przenoszonych drogą wodną, wymuszając zmianę podejścia do gospodarowania odpadami. Rozwiązanie problemu ścieków stało się przedmiotem wielu prowadzonych badań. W Wielkiej Brytanii jeden z wielu wniosków eksperymentów prowadzonych przez Komisję Królewską, zaprezentowany na kongresie poświęconym kanalizacji miast w 1865 r. argumentował, że oczyszczanie ścieków w ziemi jest jedynym dopuszczalnym systemem oczyszczania ścieków. Wkrótce na szeroką skalę „farmy ściekowe” rozpoczęto wykorzystywać do oczyszczania ścieków wielu miastach europejskich. Oczyszczanie ścieków w gruncie na polach nawadnianych i irygowanych, zastosowano po raz pierwszy w USA w 1872 roku [2], również we Wrocławiu w celu oczyszczania ścieków w XIX wieku wybudowano tzw. Pola Irygacyjne Osobowice.

Pierwszym elementem technologicznym oczyszczalni były już w tym okresie urządzenia do ich mechanicznego oczyszczania z części pływających i zawieszin, stosowano również chemiczne współstrącanie. Rozwój miast to również wzrost wartości terenów na których budowano niezbędną infrastrukturę a ograniczeniem oczyszczania ścieków w gruncie jest wykorzystanie znacznych powierzchni jednostkowych, przypadających na jednego mieszkańca (od 50 do 100 m² na mieszkańca). Był

to jeden z argumentów poszukiwania innych, również bardziej efektywnych metod oczyszczania ścieków.

Do oczyszczania ścieków pod koniec XIX wieku w praktyce stosowano już różne formy oczyszczania beztlenowego, w tym popularne szamba i zbiornik Imhoffa. Niektórzy badacze wysunęli wówczas hipotezę, że zapewnienie warunków tlenowych rozwiąże problem odorowy, towarzyszący oczyszczaniu beztlenowemu, co przyspieszyło wdrożenie eksperymentów z wdmuchiwanym powietrzem do ścieków. Pierwszym krokiem ewolucji w zakresie badań jest z pewnością opublikowane w 1877 roku, tygodniowe sprawozdanie z sesji Akademii Nauk przygotowane przez T. Schloesinga i A. Miintza [2]. W trakcie prowadzonych obserwacji doszli do wniosku, że redukcja gnijącej materii w oczyszczaniu ścieków jest związana z organizmami żywymi zużywającymi tlen i występuje wraz z produkcją azotanów. Badania nad napowietrzaniem ścieków w Anglii prowadzone od 1882 roku przez doktora Angusa Smitha [1], również potwierdzały, że wdmuchiwanie powietrza do zbiorników ściekowych prowadzi do nityfikacji i redukcji gnijącej materii [3]. W 1884 roku A. Dupre wskazywał na potrzebę wykorzystania tlenu w oczyszczaniu ścieków, testując wpływ bulgoczącego powietrza i napowietrzania przez kaskadowy przepływ wody [3]. Podobne wnioski były formułowane w 1892 roku w USA, przez badaczy W.P. Masona i S.K. Hinea [3].

Pierwsze systemy biologiczne oczyszczania ścieków opierały się na biofilmie wytwarzanym na filtrach działających okresowo (przerywanych), złożach kontaktowych lub filtrach zraszanych. Naturalny etap napowietrzania zastosowano w 1871 roku w filtrach przerywanych, a w 1891 roku na złożach kontaktowych W.J. Dibdina (wykonanych postaci ułożonych w stopy kamieni) w Anglii. Natomiast w 1888 roku na pierwszych filtrach przerywanych w USA (obserwowanych w Lawrence Experimental Station, w stanie Massachusetts) [3]. Złoża kontaktowe Dibdina, powszechnie uważa się za symboliczny początek technologii biologicznego oczyszczania ścieków [2]. W 1894 roku G.E. Waring zaprojektował system filtracji żwirowej z wymuszonym napowietrzaniem opatentowany następnie w USA rok później. W „pierwszych badawczych instalacjach” występowały problemy z zatykaniem urządzeń napowietrzających.

Ideologiczna debata zwolenników wykorzystania naturalnych systemów oczyszczania ścieków w gruncie i orędowników metod „sztucznych” takich jak beztlenowe szamba, zbiorniki Imhoffa, złoża kontaktowe i infiltracyjne trwała przez drugą połowę XIX wieku. Ostatecznie jednak badania zostały ukierunkowane na wykorzystanie osadu czynnego w pierwszych dekadach XX wieku, jak to zostanie przedstawione poniżej.

Badacze pracujący nad nowymi technologiami oczyszczania ścieków skupiali się przede wszystkim na trzech wskaźnikach oceny skuteczności procesu oczyszczania: redukcji

zapotrzebowania na tlen, utlenianiu amoniaku (nitryfikacji) oraz skłonności do zagniwania. Doświadczenia z pracą systemami filtrów stałych pokazały że wzrost glonów na powierzchniach mających kontakt ze ściekami poprawia utlenianie.

Wykorzystując inne rodzaje pożywki Black i Phelps w 1911 roku badali napowietrzanie ścieków w zbiornikach zawierających pochyłe drewniane kraty, przez okres do 24 godzin, potwierdzając jedynie niewielkie utlenianie materii organicznej i brak utleniania azotu [3]. Dobłą koncepcją było wykorzystanie zawieszonych kultur biomasy w napowietrzonym bioreaktorze. Badania przeprowadzili w Lawrence Experimental Station w Massachusetts dwaj badacze H.W. Clarka i S. Gagea w roku 1912. Napowietrzali oni ścieki w filtrach piaskowych, w butelkach zaszczepionych algami, a także w zbiorniku zawierającym płyty łupkowe [1, 3]. Po kilku miesiącach doświadczeń zaobserwowali nitryfikację w filtrze napowietrzonym który zawierał algi. W przypadku zbiornika zawierającego płyty łupkowe stwierdzono, że płyty łupkowe oraz boki zbiornika zostały pokryte zwartym brązowym nalotem, czystość ścieków znacznie się poprawiła, a nitryfikację można było przeprowadzić w ciągu 24 godzin. Pod koniec każdego cyklu dozowania zbiornik był opróżniany i ponownie napełniany ściekami.

W tym czasie G. J. Fowler z wykształcenia chemik i konsultant w Manchester Corporation Rivers Division, który kierował od 1904 r. badaniami w laboratorium Davyhulme w trakcie swojej wizyty w Nowym Jorku żeby skonsultować się w sprawie zanieczyszczenia portu, odwiedził również Lawrence Experimental Station w Massachusetts. Obserwował tam próby z napowietrzaniem ścieków z wprowadzeniem alg lub innych stałych czynników. Fowler znał wyniki wcześniejszych prac z tego laboratorium i wzbudzały one jego ciekawość, ponieważ sam prowadził badania nad wykorzystaniem mikroorganizmów do przemysłowego oczyszczania ścieków.

Po powrocie do Manchesteru Fowler nadzorował eksperymenty, w których do ścieków surowych, dodawano kulturę bakterii żelaza (M-7) oraz 17 mg/l soli żelaza, napowietrzając całość przez sześć godzin, a w kolejnym etapie proces klarowania. W trakcie doświadczeń nie poddano recyklingowi osady zdekantowane po klarowaniu w osadniku, ale kontynuowano dodawanie M-7 do naczynia napowietrzającego przy każdej dawce ścieków [3]. Fowler razem ze swoją studentką E. Mumford, opublikowali obszerną pracę z czystą kulturą bakterii znaną jako „M7”. W swoich badaniach rozważali oni kontrolowane użycie mikroorganizmów do oczyszczania ścieków, byli jednak ograniczeni koniecznością ciągłego szczepienia ścieków ich czystą kulturą [4] i chociaż nastąpiło oczyszczenie ścieków, szybkość procesu była nie wystarczająca [1]. W dniu 3 kwietnia 1914 r. w Society for Chemical Industry w Grand Hotel w Manchesterze, dwóch studentów Fowlera, Edward Ardern i William T. Lockett zatrudnieni w Manchester Sewage Works, zaprezentowało to, co sam Fowler określił jako „bombę”. W swoim laboratorium Ardern i Lockett napowietrzali ścieki w szklanych butelkach, przykrytych papierem, żeby zapobiec wzrostowi glonów. W przeciwieństwie do poprzednich badaczy, zatrzymywali oni osady powstałe po napowietrzaniu i podając kolejną porcję ścieków. Nazwali nagromadzone substancje stałe „osadem czynnym” (activated sludge), ponieważ zużywały one materiał organiczny zawarty w surowych ściekach. Zauważyli

również że osad czynny ma postać ciemnobrązowej, kłaczkowatej masy, która szybko oddzieliła się od oczyszczonych ścieków. Odkryli, że szybkość oczyszczania (wówczas definiowana jako usuwanie biodegradowalnych związków organicznych i pełna nitryfikacja) wzrastała w miarę zatrzymywania osadów stałych w trakcie kilku cykli oczyszczania. Czas potrzebny na oczyszczanie został ostatecznie skrócony do mniej niż 24 godzin, co sprawiło, że proces stał się ekonomicznie opłacalny [1].

Inni badacze i inżynierowie pracujący w tym samym czasie zdawali sobie sprawę, że zanieczyszczenia w ściekach ostatecznie ulegną utlenieniu po wystawieniu na działanie powietrza, ale większość z nich skupiała się na procesach z nieruchomą warstwą. Naukowcy empirycznie zidentyfikowali konieczność zapewnienia wystarczającej masy osadów oczyszczających, takich jak osady, które były zatrzymywane przez biofilmy rozwijające się na podłożach dostarczanych w złożach kontaktowych lub dodawanych bezpośrednio. Nikt jednak nie wpadł na genialny pomysł wykorzystania osadów zatrzymanych po sedymentacji w osadnikach.

Warto podkreślić, że Ardern i Lockett podejrzewali znaczenia mikroorganizmów w ich osadzie czynnym, przyznali również, że w momencie sporządzania pierwszego raportu nie byli w stanie potwierdzić względnego udziału procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych [4]. Praca Arderna i Locketta była z pewnością zwieńczeniem badań nad oczyszczaniem ścieków w USA i Wielkiej Brytanii prowadzonych pod koniec XIX i na początku XX wieku. Wymuszone obieg powietrza w celu zapewnienia równocześnie mieszania oraz transferu tlenu połączony z recyklingiem biomasy, przyspieszył proces utleniania o rzędy wielkości.

Proces z wykorzystaniem osadu czynnego to pięć podstawowych elementów: (1) zawieszenie kłaczkowatej zawiesiny mikroorganizmów poprzez mieszanie i/lub napowietrzanie; (2) utlenianie rozpuszczalnej i cząsteczkowej materii organicznej tlenem lub azotanem/azotynem w celu wytworzenia produktów gazowych i dodatkowej biomasy; (3) rozdzielanie cieczy i ciał stałych w celu wytworzenia oczyszczonych ścieków o niskim stężeniu zawiesiny, (4) powrót ciał stałych ze strefy rozdzielania cieczy i ciał stałych do reaktora oczyszczania, wzrostu ciał stałych w reaktorze oczyszczania, podczas rozdzielania i usuwania ścieków, (5) odprowadzanie nadmiaru osadu w celu utrzymania pożądanej masy osadu lub wieku osadu [3].

Od rozpoczęcia badań nad napowietrzaniem ścieków w Anglii i wspomnianego już doktora Angusa Smitha minęły całe 32 lata do przełomowych wyników badań z 1914 roku przedstawionych przez Arderna i Locketta i „wynalezienia” przez nich oczyszczalni ścieków z osadem czynnym. Dokonała się rewolucja, zmieniło podejście do procesów oczyszczania ścieków, o czym świadczy szybkie przyjęcie tego rozwiązania całym światem.

Dalsze testy i prace rozwojowe nastąpiły szybko w USA, w tym w Mt Vernon w stanie Nowym Jorku, na Uniwersytecie Illinois i w Milwaukee w stanie Wisconsin. Profesor Edward Bartow z Uniwersytetu Illinois odwiedził grupę Fowlera w sierpniu 1914 r. a później przeprowadził swoje eksperymenty z osadem czynnym w laboratoriach Illinois State Water Survey. Następnym krokiem było wykonanie obserwacji w Champaign w stanie Illinois dla przepływu ścieków 750 m³/d na

obiekcie testowym z sitami prętowymi, usuwaniem piasku, oddzielnymi zbiornikami do napowietrzania, osadnikiem oraz złożami do suszenia osadu. Testy wykazały wpływ rosnącego stężenia osadu czynnego na szybkość nitrifikacji, wyższość płyty filtracyjnej nad drewnianymi dyfuzorami powietrza i określiły zależność powierzchni dyfuzora do powierzchni zbiornika. Zaledwie 18 miesięcy po prezentacji Arderna i Locketta, w Milwaukee stanie Wisconsin uruchomiono instalację z osadem czynnym o przepływie ciągłym. Badania i uzyskane wyniki w Milwaukee dostarczyły wskazówek projektowych kilku parametrów procesu, w tym wymaganego czasu napowietrzania, szybkości aplikacji powietrza na 1 m³ oczyszczonych ścieków czy warunków pracy osadnika do sedymentacji osadu.

Zainteresowania badaczy i przedsiębiorstw dotyczyły również możliwości wykorzystania osadu czynnego odprowadzanego z układu technologicznego jako nawozu. W 1926 roku w Milwaukee zapoczątkowano sprzedaż suszonego produktu. Również przedstawiany wcześniej Fowler razem z Mumford otrzymali patent USA, w którym opisano sterylizację cieplną usuniętych z układu technologicznego osadów w temperaturze 60-70°C. Fowler podkreślał zalety i potencjalne możliwości wykorzystania osadów w celu wzbogacenia gleby w azot. Z całą pewnością Fowler jako badacz i mentor był źródłem inspiracji dla Arderna i Locketta i odegrał centralną rolę w rozwoju i komercjalizacji wykorzystania osadu czynnego. W 1916 roku Fowler został profesorem w Indyjskim Instytucie Naukowym w Bangalore, kontynuując swoje działania jako ceniony naukowiec i zwolennik zarządzania azotem w rolnictwie.

W ciągu następnych dwunastu lat od przełom dokonanego przez Arderna i Locketta, w Wielkiej Brytanii i USA pracowało już ponad dwadzieścia pełnowymiarowych oczyszczalni ścieków wykorzystujących ich odkrycie [3]. Do 1924 r. w kanadyjskiej prowincji Ontario, działało siedem zakładów komunalnych. W 1925 r. Karl Imhoff w Essen zarządzał pierwszym zakładem eksperymentalnym w Niemczech.

Do 1917 r. powszechnym rozwiązaniem projektowym było ciągłe oczyszczanie ścieków przepływowe z oddzielnymi osadnikami [3], choć istniały już rozwiązania z sekwencyjnymi reaktorami zbliżone do dzisiejszych SBR-ów. W 1927 roku największe zakłady oczyszczania ścieków znajdowały się w USA: w Houston w Teksasie, Milwaukee w Wisconsin, Indianapolis w Indianapolis i Chicago w Illinois.

W celu optymalizacji procesów oczyszczania ścieków wprowadzono nowe rozwiązanie w zakresie ich napowietrzania, konfiguracji elementów technologicznych, pompowania i recyrkulacji osadów. Technologia szybko ewoluowała a praktyczne podejście było często inne w różnych krajach. Potrzeba praktycznych odpowiedzi na wiele problemów technologicznych, produkcja i wykorzystanie specjalistycznego sprzętu doprowadziło do powstania zupełnie nowych gałęzi przemysłu. Zainteresowanie procesem oczyszczania ścieków osadem czynnym dobrze ilustruje fakt, że w przeglądzie opublikowanym przez Portera zaledwie trzy lata po przedstawieniu wyników przez Arderna i Locketta pojawiła się nowa bibliografia zawierająca 200 prac, która w kolejnym przeglądzie opublikowanym w 1921 r. wzrosła do 800 artykułów [5].

W całej Europie powstawały stacje doświadczalnych, które prowadziły badania w zakresie gospodarki wodnej

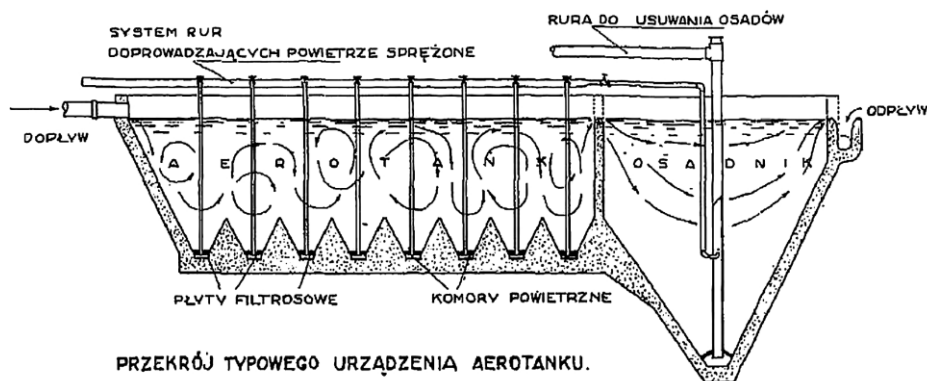
i efektywnego oczyszczania. Niektóre z tych instalacji przeobraziły się później w duże zakłady, zajmujące się praktycznym podejściem również w zakresie ochrony gleby i powietrza np.: znany Berliński Zakład Higieny Wody, Gleby i Powietrza (Landesanstalt für Wasser-Boden und Lufthygiene zu Berlin-Dahlem) [6].

W Warszawie Instalację Stacji Doświadczalnej Oczyszczania Ścieków na Kaskadzie zbudowano w latach 1912-1914, której historię przedstawiłem w artykule opublikowanym w poprzednim wydaniu czasopisma Technologia Wody [7]. W Wilnie sprawa zbudowania stacji była jeszcze pod koniec lat dwudziestych XX wieku w fazie przygotowań.

Według często cytowanej w literaturze informacji w naszym kraju terminu „osad czynny” po raz pierwszy został użyty w 1923 roku przez profesora Wróblewskiego [8]. W 1926 roku w Wilnie na „IV Zjeździe Higienistów Polskich i V Lekarzy i Działaczy Sanitarnych Miejskich” doktora medycyny Aleksander Safarewicz z Zakładu Higieny Uniwersytetu Stefana Batorego w Wilnie, mówił o konieczności rozpoczęcia badań nad oczyszczanie ścieków za pomocą „mułu aktywnego” [9]. Proces wykorzystania osadu czynnego na tym samym zjeździe omawiał również A. Palewicz, jak również na VI Zjeździe Lekarzy i Działaczy Sanitarnych Miejskich w 1927 roku w Łodzi [10], gdzie również Safarewicz przypomniał swoją propozycję [11]. Nawiązując do referatu Safarewicza, inż. Aleksander Szniolis, zgłosił wniosek, aby Zjazd poparł inicjatywę Generalnej Dyrekcji Służby Zdrowia „konieczność natychmiastowego uruchomienia w Warszawie Stacji Doświadczalnej” na Kaskadzie w Warszawie, wniosek został przyjęty. Szniolis był jednym z organizatorów Oddziału Inżynierii Sanitarnej w Państwowej Szkole Higieny (powołanej w 1922 r. przy Państwowym Zakładzie Higieny – PZH). Obiekt Stacji Doświadczalnej Oczyszczania Ścieków na Kaskadzie rzeczywiście uruchomiono w 1927 roku, ale decyzją Rady Miejskiej Warszawy w dniu 17 maja [7]. W swojej publikacji H. Przyłęcki z 1927 r. wspomina, że na Stacji Doświadczalnej na Kaskadzie znajduje się osadnik dla koagulowanych ścieków, które można zaadoptować na „...powietrzne baseny do osadu czynnego (Activated Sludge)” [7, 12].

W roku 1927 roku K. Kiszka i J. Okszy-Grabowski opublikowali informacje o sposobach oczyszczania ścieków, które są sprawozdaniem z zagranicznej podróży naukowej w celu zapoznania się ze stosowanymi tam rozwiązaniami [6]. Wykorzystanie osadu czynnego do oczyszczania ścieków przedstawił w 1928 roku w popularnym czasopiśmie Przegląd Techniczny inż. Szniolis. Opisał jako najbardziej rozpowszechnione rozwiązanie stosowanie „aerotanków” [13], zgodnie z zamieszczonym w artykule opisem. „Zasada przewietrzania ścieków polega w tem urządzeniu na przedmuchiwaniu powietrzem sprężonym, wprowadzanem przez dno komory, Aerotanki wykonywa się przeważnie w postaci jednego lub kilku długich kanałów, połączonych ze sobą, do których wprowadzane są ścieki wraz z osadem czynnym z jednego końca, a odprowadzane z drugiego... Osad, gromadzący się na dnie, przepompowuje się stale lub nierzadziej niż raz na I—I 12 godz., zapomocą powietrza sprężonego lub pomp wirnikowych”. Schemat aerotanku z publikacji Szniolisa został pokazany na rysunku 1.

Najważniejszą publikacją z tego okresu dostępną w języku polskim jest wydana „Nakładem Magistratu m. Wilno”



Rys. 1. Przekrój aerotanku do oczyszczania ścieków z wykorzystaniem osadu czynnego [13]

w 1929 roku książka Safarewicza „Oczyszczanie ścieków za pomocą mułu czynnego – The activated sludge proces”, której bibliografia obejmuje ponad 100 publikacji. Safarewicz podkreśla we wstępie, że praca z jej przygotowaniem była trudna ze względu na ograniczenia w zdobywaniu oryginalnych publikacji ze specjalistycznych czasopisma zagranicznych, korzystał on między innymi z roczników sprawozdań Urzędów Zdrowia USA.

W swojej książce „Historja rozwoju metody biologicznego oczyszczania ścieków kanałowych” z 1929 roku, inżynier Edward Szenfeld były naczelnym inżynierem budowy kanalizacji i wodociągów w Wilnie oraz dyrektorem wodociągów i kanalizacji m. Warszawy napisał „Angielskie i niemieckie pisma sanitarno-techniczne prawie w każdym numerze przynoszą wiadomości o postępach, bądź to ulepszeń praktycznych, bądź to rezultaty prac laboratoryjnych, z których powinniśmy korzystać, nie mając do tej pory odpowiedniego pola pracy, zarówno praktycznej, jak i naukowej. Wiele z tych pomysłów jest skazanych na zapomnienie, jako nieodpowiednie, lecz z pośród nich zawsze się daje odsiać pewną liczbę prac, które wchodzą w życie, jako pomysły pożyteczne i praktyczne” [14].

W 1927 roku w polskich miastach istniały 22 oczyszczalnie ścieków. W większości z nich zainstalowano tylko urządzenia do mechanicznego oczyszczania ścieków (kraty, piaskowniki, osadniki i doły gnilne). Filtry biologiczne funkcjonowały w kilku oczyszczalniach, a złoża biologiczne zrasane zastosowano jedynie w jednej oczyszczalni ścieków w Gnieźnie [15]. Pierwsza oczyszczalnia wykorzystująca technologię osadu czynnego z napowietrzaniem mieszadłami Hawortha została oddana do użytku 1937 roku w Kielcach [10].

Z pewnością motorem rozwoju procesu biologicznego oczyszczania ścieków osadem czynnym na świecie, była druga rewolucja przemysłowa pod koniec XIX wieku. W Polsce nabrała pewnego przyspieszenia dopiero w latach dwudziestych po zakończeniu pierwszej wojny światowej i odzyskaniu niepodległości. Głównym celem prowadzonych badań było rozwiązanie, które pozwoli na usuwanie ze ścieków biologicznych związków węgla i zawiesiny w początkach w 1914 r. Usuwania azotu w latach 60-tych i fosforu od lat 70-tych XX wieku. Późniejsze badania ukierunkowano na rozwiązanie problemów z pienieniem osadu i jego słabą sedymentacją. Obecnie prowadzone są prace, które mają zwiększyć efektywności procesu, zmniejszyć objętości reaktorów oraz zoptymalizować technologię pod kątem energetycznym, osobnym problemem jest

dalsze zagospodarowanie powstających osadów i prowadzenie gospodarki cyrkulacyjnej.

Od „wynalezienia” w 1914 roku przez Ardena i Locketa oczyszczalni ścieków z osadem czynnym mija teraz 111 lat. Rozwój mikrobiologii, inżynierii genetycznej, nowoczesnych systemów monitorowania i sterowania z wykorzystaniem predykcji czy sztucznej inteligencji przyczyni się na pewno w przyszłości do jeszcze lepszego wykorzystania możliwości osadu czynnego.

Literatura

- [1] Daiger G.T., Arden and Lockett remembrance, Activated Sludge – 100 Years and Counting, IWA Publishing, London 2016.
- [2] Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Sozański M., Technologia wody i ścieków – tradycja i współczesność, Gaz Woda i Technika Sanitarna, wrzesień 2022.
- [3] Stensel H.D., Mąkinnia J., Activated sludge proces development, Activated Sludge – 100 Years and Counting, IWA Publishing, London 2016.
- [4] Nielsen H., McMahon K.D., Microbiology and microbial ecology of the activated sludge proces, Activated Sludge – 100 Years and Counting, IWA Publishing, London 2016.
- [5] Daigger G.T., Arden and Lockett remembrance, Activated Sludge – 100 Years and Counting, IWA Publishing, London 2016.
- [6] Safarewicz A., Oczyszczanie ścieków zapomocą mułu czynnego – The activated sludge proces, Wilno 1928.
- [7] Klaczyński E., Początki mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów w Polsce, Technologia Wody 4/2024,
- [8] Imhoff K., Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków, Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1996.
- [9] Safarewicz A., O nowych prądach w sprawie oczyszczania ścieków. Pamiętnik Zjazdu V Higienistów Polskich i V Lekarzy i Działaczy Sanitarnych Miejskich w Wilnie 13-14 czerwca 1926 r. Wilno.
- [10] Gromiec M., Odkrycie i rozwój metody osadu czynnego do oczyszczania ścieków – 105 rocznica, Technologia Wody 1/2019,
- [11] Safarewicz A., Oczyszczanie ścieków przy pomocy aerowania w obecności mułu aktywnego. Pam. VI Zjazdu Lek. i Dz. San. M. w Łodzi 24-25 kwietnia 1927.
- [12] Przyłęcki H., Stacja doświadczalna. Oczyszczalnia ścieków w Warszawie, Odbitka z „Przeglądu Technicznego”, Warszawa 1927,
- [13] Szniolis A., Osad czynny, Przegląd techniczny nr 20, tom LXVI, Warszawa 16 maja 1928.
- [14] Szenfeld A., Historja rozwoju metody biologicznego oczyszczania ścieków kanałowych, Warszawa 1929.
- [15] Klaczyński E., Komunalne oczyszczalnie ścieków. Podstawy projektowania i eksploatacji, Envirotech, Poznań 2016.

dr Eugeniusz Klaczyński

dyrektor ds. kontraktów, Envirotech Sp. z o.o. w Poznaniu