



WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

MONOGRAFIE KOMITETU INŻYNIERII ŚRODOWISKA

Nr 172



OCHRONA ZASOBÓW WODNYCH  
PRZED ZANIECZYSZCZENIEM.  
WYBRANE PROBLEMY I ROZWIĄZANIA

Marek Gromiec

Warszawa 2021

**OCHRONA ZASOBÓW WODNYCH  
PRZED ZANIECZYSZCZENIEM.  
WYBRANE PROBLEMY  
I ROZWIĄZANIA**



**WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK  
KOMITET INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**MONOGRAFIE**

**Nr 172**

**OCHRONA ZASOBÓW WODNYCH  
PRZED ZANIECZYSZCZENIEM.  
WYBRANE PROBLEMY  
I ROZWIĄZANIA**

**Marek Gromiec**

**Warszawa 2021**

Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk 2021

Komitet Inżynierii Środowiska PAN

ISBN 978-83-63714-71-0

*Komitet redakcyjny*

prof. Anna Anielak	dr hab.inż. Agnieszka Kaczmarczyk
prof. Kazimierz Banasik	dr hab. inż. Piotr Koszelnik
prof. January Bień	dr hab. inż. Leszek Książek
prof. Ryszard Błażejowski	prof. Hanna Obarska-Pempkowiak
prof. Michał Bodzek	prof. Małgorzata Pawłowska
dr hab. inż. Andrzej Bogdał	prof. Krzysztof Pulikowski
dr hab. Klaudia Borowiak	prof. Czesława Rosik-Dulewska
prof. Tadeusz Chmielniak	dr hab. inż. Stanisław Rybicki
dr hab. inż. Tomasz Ciesielczyk	prof. Mariusz Sojka
dr hab. Lidia Dąbek	dr hab. inż. Izabela Sówka
dr hab. inż. Wojciech Dąbrowski	prof. Kazimierz Szymański
dr hab. inż. Magdalena Gajewska	dr hab. inż. Tomasz Tymiński
dr hab. inż. Marta Gmurek – Członek AMU	prof. Józefa Wiater
prof. Marek Gromiec	prof. Mirosław Wiatkowski
dr hab. inż. Katarzyna Ignatowicz	prof. Tomasz Winnicki
prof. Krzysztof Józwiakowski	prof. Maria Włodarczyk-Makuła
prof. Katarzyna Juda-Rezler	dr hab.inż. Ewa Wojciechowska
prof. Radosław Juszczak	prof. Irena Wojnowska-Baryła
dr hab. inż. Tomasz Kałuża	

*Redaktor Naczelny*

Prof. Lucjan Pawłowski

*Recenzent wydawniczy*

prof. zw. dr hab.inż. Elżbieta Niemirycz – Uniwersytet Gdański  
prof. zw. hab. inż. Rafał Miłaszewski – UKSW

© Copyright Marek Gromiec

*Zdjęcie na okładce*

fot. Marek Gromiec

*Skład i łamanie*

Dariusz Górski

Druk: Fabryka Druku

**Motto:** Fragment z filmu „Casablanka” (1942):

Kapitan policji Renault (aktor-Claude Rains):

*Co, na litość boską, przywiodło cię do Casablanki?*

Rick Blaine (aktor-Humphrey Bogart):

*Moje zdrowie, przyjechałem do Casablanki do wód.*

Kapitan Renault: ***Wód ? Jakich wód? Jesteśmy na pustyni.***

Rick Blaine, z udawaną powagą: *Zostałem źle poinformowany.*



## Spis treści

Wprowadzenie . . . . .	15
1. Woda – problem globalny . . . . .	17
1.1. Przyczyny globalnego znaczenia wody . . . . .	17
1.2. Wykorzystanie wody na świecie . . . . .	18
1.3. Dostęp ludności do wody do picia oraz warunki sanitarne . . . . .	18
1.4. Działania ONZ i realizacja celów milenijnych . . . . .	19
1.5. Globalne problemy wodne . . . . .	20
1.6. Podsumowanie . . . . .	22
Bibliografia . . . . .	23
2. Woda w encyklice papieskiej . . . . .	24
2.1. Obraz ekologiczny Ziemi i kwestia wody . . . . .	24
2.2. Znaczenie wody i propozycje rozwiązań . . . . .	26
2.3. Podsumowanie . . . . .	27
Bibliografia . . . . .	27
3. Wpływ regulacji prawnych na rozwój ochrony wód . . . . .	28
3.1. Wpływ prawodawstwa na ochronę wód w Europie . . . . .	28
3.2. Wpływ prawodawstwa na ochronę wód w USA . . . . .	29
3.3. Podsumowanie . . . . .	30
Bibliografia . . . . .	32
4. Zarządzanie gospodarką wodną i ochroną wód w kraju . . . . .	33
4.1. Zarządzanie wodą w ujęciu historycznym . . . . .	33
4.2. Aktualna sytuacja zarządzania wodą . . . . .	36
4.3. Podsumowanie . . . . .	37
Bibliografia . . . . .	38
5. Wkład Stanów Zjednoczonych w ochronę wód w Polsce . . . . .	40
5.1. Wkład w edukację w zakresie inżynierii sanitarnej . . . . .	40
5.2. Wkład w wymianę naukową, badania i praktykę w ochronie wód . . . . .	43
5.3. Podsumowanie . . . . .	48
Bibliografia . . . . .	49



6. Problemy krajowej ochrony wód . . . . .	50
6.1. Problemy podstawowe ochrony zasobów wodnych . . . . .	50
6.2. Problem bezpieczeństwa zdrowotnego wody . . . . .	53
6.3. Problem zanieczyszczenia wód w kraju . . . . .	54
6.4. Działania w zakresie ochrony wód . . . . .	56
6.5. Podsumowanie . . . . .	58
Bibliografia . . . . .	58
7. Programy badawcze gospodarki wodnej i ochrony wód na progu XX wieku . . . . .	60
7.1. Program Badawczo-Rozwojowy PR-7 . . . . .	60
7.2. Program Badawczo-Rozwojowy CPBR 11.10 . . . . .	62
7.3. Projekt Badawczy Zamawiany PBZ 28-02 . . . . .	64
7.4. Podsumowanie . . . . .	66
Bibliografia . . . . .	66
8. Znaczenie racjonalizacji zużycia wody przemysłu w ochronie wód . . . . .	67
8.1. Możliwości racjonalizacji zużycia wody przez przemysł . . . . .	67
8.2. Działania dotyczące racjonalizacji zużycia wody w przemyśle . . . . .	68
8.3. Wybrane cele wykorzystania wody w przemyśle . . . . .	71
8.4. Podsumowanie . . . . .	75
Bibliografia . . . . .	77
9. Akty prawne związane z ochroną wód i unijne zobowiązania Polski . . . . .	78
9.1. Dyrektywy Wspólnoty Europejskiej . . . . .	78
9.2. Konwencje . . . . .	79
9.3. Zobowiązania Polski do Unii Europejskiej w obszarze jakości wód . . . . .	80
9.4. Postanowienia w stosunku do poszczególnych dyrektyw . . . . .	80
9.5. Podstawy polityki wodnej z zakresu jakości wód Unii Europejskiej . . . . .	84
9.6. Podsumowanie . . . . .	85
Bibliografia . . . . .	86

---

10. Realizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych . . . . .	87
10.1. Charakterystyka programu ściekowego i jego aktualizacji . . .	87
10.2. Koszty aktualizacji programu ściekowego (AKPOŚK 2010) . .	89
10.3. Następne aktualizacje programu ściekowego . . . . .	92
10.5. Podsumowanie . . . . .	92
Bibliografia . . . . .	93
11. Polityka wodna i strategie ochrony wód . . . . .	95
11.1. Cele ochrony wód . . . . .	95
11.2. Procedura ochrony zasobów wodnych . . . . .	96
11.3. Postanowienia i strategie ochrony wód . . . . .	97
11.4. Podstawy naukowe krajowej strategii ochrony wód . . . . .	98
11.5. Ważniejsze elementy strategii ogólnej ochrony wód . . . . .	99
11.6. Podsumowanie . . . . .	103
Bibliografia . . . . .	104
12. Planowanie ochrony wód w RDW . . . . .	107
12.1. Zasady działań ochrony wód w RDW . . . . .	107
12.2. Realizacja RDW w Polsce . . . . .	108
12.3. Opracowywanie planów gospodarowania wodami w RFN . . . . .	110
12.4. Podsumowanie . . . . .	113
Bibliografia . . . . .	114
13. Rozwój monitoringu stanu wód . . . . .	116
13.1. Rola i zakres monitoringu stanu wód . . . . .	116
13.2. Rozwój elementów technicznych i systemów monitoringu wód . . . . .	117
13.3. Postęp w rozwoju monitoringu i oceny stanu wód . . . . .	119
13.4. Podsumowanie . . . . .	121
Bibliografia . . . . .	121
14. Zagrożenia jakości wody i wybrane rozwiązania . . . . .	123
14.1. Występujące zagrożenia . . . . .	123

14.2. Wybrane rozwiązania . . . . .	128
Bibliografia . . . . .	136
15. Metoda osadu czynnego do oczyszczania ścieków-historia rozwoju . .	137
15.1. Odkrycie metody osadu czynnego . . . . .	137
15.2. Pierwsze zastosowania metody osadu czynnego na świecie . .	138
15.3. Rozwój metody osadu czynnego w USA i Europie . . . . .	139
15.4. Modelowanie matematyczne procesu osadu czynnego . . . . .	140
15.5. Usuwanie substancji biogenych metodą osadu czynnego . . .	141
15.6. Podsumowanie . . . . .	143
Bibliografia . . . . .	143
16. Technologia z tlenowym granulowanym osadem czynnym . . . . .	146
16.1. Podstawy technologii . . . . .	146
16.2. Zastosowanie technologii w miastach holenderskich . . . . .	148
16.3. Zastosowanie technologii w Polsce . . . . .	152
16.4. Analiza zużycia energii w reaktorach . . . . .	154
16.5. Podsumowanie . . . . .	156
Bibliografia . . . . .	159
17. Reaktory z błoną biologiczną . . . . .	160
17.1. Reaktory tlenowe i beztlenowe z błoną biologiczną . . . . .	160
17.2. Zalety i wady reaktorów beztlenowych z błoną biologiczną . .	163
17.3. Podsumowanie . . . . .	165
Bibliografia . . . . .	166
18. Filtry tkaninowe do ścieków . . . . .	167
18.1. Filtry oparte o tkaniny filtracyjne . . . . .	167
18.2. Filtry z tkaniną filtracyjną z mikrowłókien . . . . .	168
18.3. Zalety i zastosowanie filtrów tkaninowych . . . . .	169
18.4. Podsumowanie . . . . .	171
Bibliografia . . . . .	172
19. Przeróbka i zagospodarowanie osadów ściekowych . . . . .	173
19.1. Problemy z zagospodarowaniem osadów ściekowych w Polsce . . . . .	173

---

19.2. Kierunki techniczno-technologiczne zagospodarowania osadów . . . . .	176
19.3. Podsumowanie . . . . .	181
Bibliografia . . . . .	183
20. Nowy paradygmat ściekowy i gospodarka cyrkulacyjna w gospodarce wodno-ściekowej . . . . .	185
20.1. Gospodarka liniowa a gospodarka cyrkulacyjna . . . . .	185
20.2. Założenia koncepcji gospodarki cyrkulacyjnej i nowego paradygmatu . . . . .	186
20.3. Senacka Komisja Środowiska w sprawie gospodarki cyrkulacyjnej . . . . .	187
20.4. Możliwości odzysku surowców w gospodarce cyrkulacyjnej . . . . .	189
20.5. Odzysk energii w systemach ściekowych i osadowych . . . . .	191
20.6. Podsumowanie . . . . .	193
Bibliografia . . . . .	195
21. Odzysk fosforu do produkcji nawóz . . . . .	196
21.1. Przesłanki odzysku fosforu . . . . .	196
21.2. Technologia do odzysku fosforu w formie nawozu . . . . .	197
21.3. Instalacje do odzysku fosforu w Ameryce Północnej . . . . .	198
21.4. Przykłady realizacji odzysku fosforu w Europie . . . . .	201
21.5. Podsumowanie . . . . .	204
Bibliografia . . . . .	205
22. Usuwanie metali/odzysk metali i chemikaliów z wód technologicznych . . . . .	206
22.1. Proces krystalizacji w technologii fluidalnej . . . . .	206
22.2. Reaktory stosowane w technologii fluidalnej . . . . .	207
22.3. Zastosowanie technologii fluidalnej . . . . .	209
22.4. Przykłady zastosowania technologii . . . . .	213
22.5. Rozwiązanie alternatywne . . . . .	217
22.6. Podsumowanie . . . . .	220
Bibliografia . . . . .	221

23. Niedobory wody i susze w polityce wodnej Unii Europejskiej . . . . .	222
23.1. Susze i niedobory wody . . . . .	222
23.2. Problem niedoborów wody i susz w dokumentach unijnych . . . . .	223
23.3. Zakres możliwych rozwiązań . . . . .	226
23.4. Zasoby wodne oraz krajowe problemy i wyzwania związane z suszą . . . . .	227
Bibliografia . . . . .	229
24. Odzysk wody ze ścieków . . . . .	231
24.1. Rodzaje i sposoby wtórnego wykorzystania ścieków . . . . .	231
24.2. Rozwój odnowy wody i regulacje prawne . . . . .	232
24.3. Podstawowe uwarunkowania wtórnego wykorzystania ścieków . . . . .	233
24.4. Odnowa wody ze ścieków dla nawodnień rolniczych . . . . .	235
24.5. Podsumowanie . . . . .	236
Bibliografia . . . . .	238
25. Dezynfekcja za pomocą promieniowania ultrafioletowego – UV . . . . .	239
25.1. Dezynfekcja wody promieniami UV . . . . .	239
25.2. Dezynfekcja ścieków promieniami UV . . . . .	244
25.3. Podsumowanie . . . . .	249
Bibliografia . . . . .	250
26. Mikrobiologia w ochronie wód w kontekście pandemii COVID-19 . . . . .	251
26.1. Wkład Polaków w rozwój bakteriologii i wirusologii . . . . .	252
26.2. Rola mikrobiologii w inżynierii sanitarnej / inżynierii środowiska . . . . .	254
26.3. Nowe zagrożenie – koronawirusy . . . . .	257
26.4. Epidemie wirusowych chorób zakaźnych i pandemia COVID-19 . . . . .	258
26.5. Potencjalne drogi transmisji koronawirusów w środowisku . . . . .	262
26.6. Koronawirusy w ściekach, osadach, odbiornikach wodnych . . . . .	264
26.7. Wykrywanie i monitoringowanie koronawirusów w ściekach . . . . .	265
26.8. Podsumowanie . . . . .	267
Bibliografia . . . . .	269

---

27. Usuwanie radioaktywności na przykładzie radonu obecnego w wodzie . . . . .	272
27.1. Problemy obecności radonu w wodzie . . . . .	272
27.2. Metody usuwania radonu z wody . . . . .	277
27.3. Podsumowanie . . . . .	283
Bibliografia . . . . .	283
28. Tworzywa sztuczne a woda . . . . .	285
28.1. Aspekty prawne . . . . .	285
28.2. Aspekty środowiskowe . . . . .	286
28.3. Problemy butelek plastikowych w aspekcie środowiskowym . . . . .	286
28.4. Aspekty techniczne systemu kaucyjnego . . . . .	288
28.4. Podsumowanie . . . . .	291
Bibliografia . . . . .	292
29. Podsumowanie . . . . .	293
Bibliografia . . . . .	300
Spis rysunków . . . . .	301
Spis tabel . . . . .	303
O autorze . . . . .	304



## Wprowadzenie

Woda jest niezbędna do życia, służy do zaspakajania potrzeb społecznych i gospodarczych i stanowi podstawowy element środowiska, Dlatego podstawowe znaczenie ma utrzymanie właściwej jakości wody i ochrona wód przed zanieczyszczeniem. Jakość zasobów wodnych determinuje w znacznym stopniu zaopatrzenie ludności i gospodarki w wodę, która jest strategicznym zasobem dla dalszego rozwoju kraju. Zanieczyszczenie wód stwarza podstawowe niebezpieczeństwo dla zdrowia, a nawet życia ludzi, stanowi zagrożenie dla przyrody oraz wpływa na zmniejszenie dyspozycyjnych zasobów wodnych. Zły stan jakości wód zmniejsza zdolność wód do samooczyszczania i ogranicza ich bezpośrednie wykorzystanie do potrzeb gospodarczych. Zła jakość ujmowanych wód powoduje konieczność stosowania bardziej skomplikowanych, a przez to kosztowniejszych metod ich uzdatniania. Stosowanie wód o nieodpowiedniej jakości powoduje szybsze zużycie się urządzeń produkcyjnych, przyczynia się do zmniejszenia sprawności produkcyjnej zakładów i do obniżenia jakości produktów finalnych. Wzrost kosztów ujmowania i uzdatniania wód powiększony jest o wzrost kosztów związanych z koniecznością stosowania coraz bardziej efektywnych metod oczyszczania ścieków i unieszkodliwiania osadów ściekowych.

Niedostateczna działalność w zakresie ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem zagraża zdrowiu publicznemu, istnieniu ekosystemów wodnych i powołuje bariery dla wzrostu gospodarczego, wynikające z braku odpowiedniej ilości wody o wymaganej jakości. Wymierne i niewymierne straty z tego tytułu, choć bez wątplenia bardzo wysokie, są trudne do dokładnego oszacowania i w zasadzie nie są ewidencjonowane. Straty te występują w gospodarce komunalnej, przemyśle, gospodarce rolnej i leśnej, gospodarce rybnej, w zasobach przyrody, w zakresie wypoczynku, sportu i turystyki. Występują też straty związane z koniecznością przerzutów czystej wody na dalekie odległości w przypadku nadmiernego zanieczyszczenia lokalnych zasobów wodnych, straty surowców odprowadzanych ze ściekami i odciekami z osadów ściekowych do wód, a w szczególności straty z tytułu korozji.

Zasobami wodnymi należy gospodarować i je ochronić w sposób holistyczny, co oznacza, że dla zapewnienia ochrony środowiska wodnego należy realizować gospodarowanie wodą w dorzeczach/zlewniach, w pełnym wymiarze. Ważną częścią holistycznej gospodarki w dorzeczach/zlewniach jest informowanie, edukacja i uczestnictwo społeczeństwa. W tej ostatniej sprawie w kraju jest jeszcze wiele do zrobienia.

Ochrona wód, w ogólnym ujęciu, to kompleks działań o charakterze naukowym, technicznym, ekonomicznym, prawnym i administracyjnym, który ma ochronić



zasoby wód powierzchniowych i podziemnych oraz morskich przed zanieczyszczeniem. Łączą się one z działaniami oszczędzającymi wodę i zapobiegającymi przed marnotrawstwem zasobów wodnych. Działania te związane są z przywróceniem zasobom wodnym odpowiedniego stanu, co związane jest z koniecznością ciągłego rozwoju technologii wody, ścieków i osadów ściekowych, jak też z przeciwdziałaniem zanieczyszczaniu wód poprzez wprowadzanie nowych technologii produkcji w zakresie oszczędności zużywanej wody oraz odzysku surowców i energii. Strategie, metody i sposoby ochrony wód zmieniały się w czasie wraz z intensyfikacją batalii o czystą wodę. W książce przedstawiono wybrane problemy ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem w kraju i na świecie oraz przykładowe rozwiązania techniczno-technologiczne ochrony wód, prezentując tematykę przedstawianą przez autora w literaturze specjalistycznej, w pracach, które zostały selektywnie wybrane.

# 1. Woda – problem globalny

Woda jest niezbędna dla życia i zrównoważonego rozwoju oraz funkcjonowania ekosystemów wodnych i zależnych od wody. Dostęp do czystej wody stanowi fundamentalne prawo człowieka i stanowi problem globalny. Istotnym jest przy tym, że Ramowa Dyrektywa Wodna, która weszła w życie też w 2000 roku, wskazała, że woda nie jest produktem komercyjnym, lecz naszym dziedzictwem. Rozdział oparto o rozszerzony artykuł autora [1].

## 1.1. Przyczyny globalnego znaczenia wody

Niewątpliwie istnieje wiele przyczyn globalnego znaczenia wody, ale najważniejsze to: zmiany klimatyczne, zmiany demograficzne, postępująca urbanizacja i stan zasobów wodnych.

Skutki zmian klimatycznych są niezwykle złożone, przyjmuje się, że powodują istotne zmiany w cyklu hydrologicznym, roślinności, poziomie mórz, zapotrzebowaniu na wodę, wykorzystaniu wody, jakości wody. Następuje też wzrost zjawisk nadzwyczajnych takich jak: intensywne opady, powodzie, susze. Za przyczyny powyższych zmian klimatycznych podaje się głównie globalne zmiany stężenia dwutlenku węgla i wywołane zmiany temperatury na powierzchni Ziemi. Stężenie dwutlenku węgla wzrosło z 280 ppm (1850 rok) do 353 ppm (1990 rok), a prognozuje się, że być może będzie nawet wynosić 500 ppm w 2050 roku (?). Różne modele prognostyczne wskazują na różne możliwe scenariusze, w tym na możliwy wzrost temperatury na powierzchni Ziemi w roku 2050 w zakresie 1,0-1,8° C, a w 2100 roku nawet w zakresie 1,8-4,0° C (?).

Niezwykle szybko zmienia się globalna liczba ludności. W roku 1950 liczba ludności wynosiła 2,5 mld, w 2000 roku-6,0 mld, a prognoza na 2050 rok to 9,0 mld(?). Równocześnie mamy postępującą urbanizację, niezwykle szybko rośnie liczba ludności w miastach: 1950 rok-733 mln, 2000 rok-3 505 mln. O ile w 1800 roku były tylko 2 miasta z liczbą ludności powyżej 1 mln, to w 2000 roku było ich już 386. Powstają nowe i powiększają się istniejące wielomilionowe miasta. Powyższy proces urbanizacji powoduje niezwykle szybki wzrost procentu ludności w miastach, który w 1950 roku wynosił 30%, a prognozuje się, że w roku 2040 będzie 70%(?). Warto zauważyć, że tylko w Chinach do roku 2015 przeniosło się ze wsi do miast ponad 300 mln ludzi. Należy jednak podkreślić, że w Polsce doświadczamy zmniejszającą się liczbę ludności, natomiast zwiększać się będzie liczba ludności w miastach.

Wzrost ludności świata i szybka urbanizacja wywierają duży wpływ na stan zasobów wodnych. Na początku jednak należy podkreślić co wynika dla ludzkości

z obecnego globalnego cyklu hydrologicznego, Tylko niecałe 3% wód Ziemi nie jest słonych, z tym, że lodowce zawierają 2/3 wody słodkiej, a z pozostałego 1% około 1/5 znajduje się na niedostępnych terenach, a więc ludzkość może korzystać z bardzo niewielkiej ilości światowych zasobów wody słodkiej, niezależnie od problemów demograficznych, które tą sytuację potęgują. Dodatkowo, różnie kształtuje się też bilans wodny dla poszczególnych kontynentów. Europa ma jeszcze stosunkowo stabilną sytuację w tym względzie. Niezależnie od tego zmiany demograficzne powodują, że średnie odnawialne zasoby wodne zmniejszają się znacznie, W 1900 roku wynosiły 29 000 m<sup>3</sup> / M rok, a w roku 2000 już 6 000 m<sup>3</sup> / M rok. Szacuje się, że w 2015 roku ponad 1,8 mld ludzi mieszkało na obszarach charakteryzujących się znacznymi niedoborami wody.

## **1.2. Wykorzystanie wody na świecie**

Na świecie, najwięcej wody wykorzystuje rolnictwo, które zużywa 70% wód powierzchniowych, a w pewnych rozwiniętych państwach powyżej 90%. Można założyć, że produkcja rolna może być jednak utrudniona z uwagi na trudne do przewidzenia zmiany klimatyczne i stan zasobów wodnych. Zależności między produkcją rolną a zmianami klimatycznymi są jednak bardzo złożone.

Należy jednak zauważyć, że z handlem produktami rolnymi związane jest 80% tzw. **wody wirtualnej**, a tylko 20% z produktami przemysłowymi, bowiem wiele produktów wymaga do ich wytwarzania na świecie dużych ilości wody. Wielkość ta wynosi 1 625 mld m<sup>3</sup> wody wirtualnej na rok, to jest 40% całkowitej konsumpcji wody. Wzrost handlu międzynarodowego może zwiększyć stres wodny poprzez przepływ wody wirtualnej.

Natomiast zużycie wody w przemyśle jest powyżej 10% i zależy głównie od rodzaju produktu i zastosowanego procesu. Przy okazji należy podkreślić ścisły związek między produkcją energii a wodą, który występuje w związkach: woda dla energii, energia dla wody. Obecnie hydrotechnika dostarcza 20% globalnej elektryczności. Wpływ przemysłu na zanieczyszczenie wód jest jednak znaczny.

## **1.3. Dostęp ludności do wody do picia oraz warunki sanitarne**

Według danych ONZ, w roku 2011 około 780 mln ludzi nie miało dostępu do bezpiecznej wody do picia. Jednak Centrum Gospodarki Wodnej Trzeciego Świata uważa, że dane te są zaniżone, bowiem stwierdza, że 2 mld ludzi nie ma dostępu do czystszej i zdrowszej wody. W samej Azji Południowo-Wschodniej, liczącej ponad 1,65 mld ludzi, trudno o miasto w którym można pić wodę bez ryzyka dla zdrowia. Natomiast jeżeli chodzi o warunki sanitarne, to według danych ONZ, w roku 2011 ponad 2,6 mld ludzi nie miało dostępu do podstawowych warunków sanitarnych.

Według Centrum Gospodarki Wodnej Trzeciego Świata tylko 10 % ludności w Ameryce Łacińskiej ma dostęp do systemów kanalizacji i oczyszczalni ścieków.

Przyczyn **istniejącego stanu globalnej gospodarki wodno-ściekowej** jest wiele, ale wydaje się, że na świecie występuje brak: odpowiedniego zarządzania, odpowiedniej struktury organizacyjnej, właściwej koordynacji, odpowiednich narzędzi. W wielu państwach występuje niewystarczające finansowanie, niewystarczająco wykształcona kadra, nieadekwatna świadomość społeczne w stosunku do wagi problemu, jak też dość ograniczone zaangażowanie się samorządów, NGO, sektora prywatnego, mediów.

#### 1.4. Działania ONZ i realizacja celów milenijnych

W roku 2000 (kuriozalne, że ciągle ten rok się pojawia w ważnych sprawach wodnych), Zgromadzenie Ogólne ONZ ustanowiło 8 milenijnych celów rozwoju, w tym również dla wody i warunków sanitarnych. Celem milenijnym, który miał być osiągnięty do 2015 roku, to zmniejszenie o połowę ilości ludzi bez dostępu do bezpiecznej wody do picia oraz bez podstawowych warunków sanitarnych.

Procent ludności bez dostępu do podstawowych warunków sanitarnych w roku 2000 wynosił 42%, a założony cel to 23% w 2015 roku. Cel ten nie został osiągnięty, a prognoza wykonania na rok 2015 wyniosła 36%. Jednak nawet gdyby ten cel był osiągnięty to pozostanie 1,7 mld ludzi bez podstawowych warunków sanitarnych. Znacznie lepiej wygląda realizacja celu milenijnego dla wody. Procent ludzi bez dostępu do bezpiecznej wody do picia w roku 2000 wynosił 17%, a założony cel na 2015 rok to 12%. Prognoza na rok 2015 wyniosła 9%, lecz mimo tego wyraźnego postępu pozostanie ponad 670 mln ludzi pozostało bez dostępu bezpiecznej wody do picia.

W 2010 roku, Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) uznała dostęp do bezpiecznej wody i podstawowych usług wodociągowo-kanalizacyjnych za jedno z podstawowych praw człowieka, co potwierdzono w roku 2012 w deklaracji Rio+20. Konferencja ONZ Szczyt Ziemi (Rio+20) stała się punktem zwrotnym rozwiązywania problemów gospodarowania zasobami wodnymi na świecie, przy stosowania zasad zrównoważonego rozwoju. Problemy wodne znalazły swój szczególny wyraz w 2012 roku, w planie ochrony zasobów wodnych Europy [2], w którym Komisja Europejska określiła długoterminowa strategię zapewnienia wystarczających zasobów dobrej jakości wodny, dla uzasadnionych zastosowań, poprzez lepsze wdrażanie polityki wodnej Unii Europejskiej.

Szczyt dotyczący Zrównoważonego Rozwoju, który odbył się w dniach 25-27 września 2015 roku w Nowym Jorku, nazwany Agendą ONZ na rzecz Zrównoważonego Rozwoju, przyniósł nowe cele oparte na ustaleniach

wcześniejszych konferencji ONZ oraz na Milenijnych Celach Rozwoju (MCR). Dokument pn. *Przekształcamy nasz świat: Agenda ONZ 2030 na rzecz Zrównoważonego Rozwoju* [ ], przyjęty przez 193 państwa członkowskie, zawiera program działań, wykraczający poza MCR z 2000 roku. Agenda powyższa zawiera 17 celów i 169 zadań, które mają być osiągnięte w roku 2030, poprawiając istniejącą sytuację na świecie. Cel dotyczy wody i ma tytuł: „**Zapewnić wszystkim ludziom dostęp do wody i warunków sanitarnych poprzez zrównoważoną gospodarkę zasobami wodnymi**”. Zadania celu, do zrealizowania do roku 2030, obejmują:

1. Zapewnić powszechny i sprawiedliwy dostęp do bezpiecznej wody po przystępnej cenie
2. Zapewnić do odpowiednich i godziwych warunków sanitarnych i higienicznych dla wszystkich oraz wyeliminować praktyki defekacji na powietrzu, przy czym należy zwrócić uwagę
3. Poprawić jakość wody poprzez redukcję zanieczyszczeń, likwidowanie wysypisk śmieci, stosowania szkodliwych substancji chemicznych i innych szkodliwych materiałów
4. Znacząco podnieść efektywność wykorzystania wody we wszystkich sektorach oraz zapewnić zrównoważony pobór wody oraz dostawy wody pitnej by rozwiązać problem niedostatku wody i znacząco zmniejszyć liczbę ludzi cierpiących z tego powodu.
5. Wdrożyć zintegrowane zarządzanie zasobami wodnymi na wszystkich poziomach, w tym poprzez współpracę transgraniczną.
6. Zapewnić ochronę i odnowić ekosystemy zależne od wody, w tym tereny górskie, lasy tereny podmokłe, rzeki, jeziora, i wody podziemne.
- 6.A. Rozszerzyć międzynarodową współpracę i wesprzeć budowę potencjału krajów rozwijających się, który umożliwi podejmowanie działań i opracowanie programów działań związanych z wodą i warunkami sanitarnymi m.in. w takich dziedzinach jak: gromadzenie wody, odsalanie, efektywna gospodarka wodna, oczyszczanie ścieków, recykling i technologie ponownego wykorzystania wody.
- 6.B. Wspierać i wzmocnić udział lokalnych społeczności w poprawie gospodarowania zasobami wodnymi i infrastruktury sanitarne

## 1.5. Globalne problemy wodne

Można wymienić wiele problemów wodnych występujących na świecie, przykładowo:

- redukcja dostępności wody słodkiej,
- redukcja areałów rolnych do produkcji żywności,

- zanieczyszczenie zasobów wodnych oraz nieodpowiednia jakość wody do picia, co powoduje zagrożenie zdrowia, a nawet życia ludzi,
- nowe formy zanieczyszczeń,
- starzenie się infrastruktury wodnej,
- prowadzenie niewłaściwej gospodarki wodno-ściekowej,
- przyzwyczajanie się społeczeństw wielu państw do korzystania z wody o złej jakości.

Jeżeli chodzi o ostatni problem, to społeczeństwa wielu państw wyrażają również słabą nadzieję, że sytuacja ta ulegnie szybko poprawie, co udzieliło się wielu mediom, które mogły by mieć znaczący wpływ na zmianę tej sytuacji. Równocześnie w wielu państwach świata występuje widoczny brak woli politycznej, aby powyższą sytuację zmienić, czemu sprzyja panująca sytuacja ekonomiczna. Natomiast fachowcy związani z wodą uważają, że sprawa zasobów wodnych jest jednym z najważniejszych problemów globalnych.

Złe warunki sanitarne w wielu państwach przyczyniają się znacznie do **zanieczyszczenia zasobów wodnych**. W państwach rozwijających się 80% ścieków zrzucane jest bez oczyszczania do wód powierzchniowych (głównie do rzek) i do mórz. Istotne zanieczyszczenie wód związane jest między innymi z zanieczyszczeniami organicznymi, substancjami biogennymi, bakteriami i wirusami, substancjami toksycznymi. Pojawiają się nowe formy zanieczyszczeń, które nie są wystarczająco rozpoznane.

W szeregu państw Unii Europejskiej, ponad 20-letnie wdrażanie szczególnie dyrektywy ściekowej przynosi znaczny postęp. W Polsce realizowany jest obecnie Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych, ale należy dostosować program do wymogów Unii Europejskiej oraz ocenić jego efekty ekologiczne. Wiele państw świata posiada prawodawstwo dotyczące ochrony wód, ale brak jest implementacji, często z uwagi na koszty.

**Badanie globalnych problemów wodnych.** Globalne problemy wodne stanowią przedmiot badań wielu instytucji na świecie, w tym instytucji międzynarodowych. Badania te dotyczą wielu aspektów, między innymi problemów o charakterze strategicznym, czy nawet politycznym. Szczególnie istotnym wydaje się ten ostatni. Rywalizacja o zmniejszające się zasoby wodne wywołuje regionalne napięcia polityczne.

Konflikty polityczne, w miarę upływu czasu, mogą przybierać nawet formę konfliktów zbrojnych. Obecne konflikty o wodę to między innymi: Izrael/Syria/ Jordania; Turcja/Syria; India/Chiny/Bangladesz; państwa afrykańskie. Z państw, które do roku 2020 odczują deficyt wody do picia, ponad 2/3 leży na Bliskim Wschodzie.

Badanie globalnych problemów wodnych wymaga nowych koncepcji, instrumentów i wskaźników. Przykładem może być wspomniana powyżej koncepcja wody wirtualnej czy koncepcja śladu wodnego.

**Ślad wodny państwa** to objętość wody użytej do produkcji wszystkich towarów i usług przez mieszkańców danego państwa. Czynniki, które między innymi określają ślad wodny to: wielkość konsumpcji, charakter konsumpcji (na przykład mięsa), klimat (warunki produkcji rolnej), praktyki rolnicze (efektywność wykorzystania wody).

Globalizacja wymaga badania śladu wodnego nie tylko państw ale całych kontynentów. Obecne wielkości śladu wodnego wskazują na występowanie istotnych różnic, przykładowo: USA-2480 m<sup>3</sup>/ M rok, a Chiny – 700 m<sup>3</sup>/ M rok przy średniej światowej – 1240 m<sup>3</sup>/ M rok. Produkcja towarów i usług o dużym śladzie wodnym zwiększy problemy państw o niedoborach wody.

**Sytuacja wodna w dłuższym horyzoncie czasu.** Globalna sytuacja wodna jest niestety niezwykle trudna, a szczególnie w horyzoncie 100 lat prawie niemożliwa do określenia. Z dużą trudnością można próbować prognozować globalną sytuację wodną w perspektywie 40 lat. Należy jednak postawić szereg pytań w tym zakresie, takich jak:

- Czy zasoby wodne będą wystarczające?
- Jak rozwój wpłynie na zapotrzebowanie na wodę?
- Jak urbanizacja wpłynie na styl życia, sposób odżywiania i wykorzystania wody?
- Gdzie zapotrzebowanie będzie największe?
- Jaki będzie rzeczywisty wpływ klimatu na zasoby wodne?

Niewątpliwie duży wpływ wywiera i wywierać będzie dalszy rozwój technologii wody i ścieków, jak też różne rozwiązania innowacyjne. Przykładem może być odsalanie wody. Wiemy jak wyglądała sytuacja w tym zakresie kilkadziesiąt lat temu. Obecnie istnieje 14 tysięcy zakładów odsalania w 150 państwach, zainstalowana pojemność odsalania to 52 mln m<sup>3</sup>/d, a zakontraktowana – 63 mln m<sup>3</sup>/d. Aktualnie 62% odsalania dotyczy wody morskiej, 19% – odsalania wód zasolonych, 8% – odsalania wód rzecznych, a 5% – odsalania ścieków. Koszty odsalania jednak spadają i obecnie wynoszą średnio od 0,7 do 1,1 USD/m<sup>3</sup>. Innowacje spowodowały, że w Singapurze koszty te wynoszą tylko 0,48 USD/m<sup>3</sup>.

## 1.6. Podsumowanie

Na forach światowych zaczyna przeważać pogląd, że w bieżącym stuleciu problem wody stanie się równie ważny jak problem dwutlenku węgla, a nawet może się wysunąć jako pierwszoplanowy, z uwagi na szybkość zmian demograficznych. Dlatego należy zintensyfikować poszukiwania zrównoważonych rozwiązań dla gospodarki wodnej, szczególnie w zakresie zaopatrzenia w zdrową i dostępną wodę dla ludności pod względem cenowym. Zarządzanie wodą winno być oparte o zintegrowane i holistyczne podejście do zasobów wodnych.



Konieczne są innowacje techniczno-technologiczne w gospodarce wodnej i ochronie wód przed zanieczyszczeniem, szczególnie w zakresie oczyszczania wody i ścieków oraz przeróbki osadów, odnowy wód ze ścieków, odsalania wody morskiej, itp. Przykładami takich innowacji są: nanotechnologie, technologie membranowe wspomagane przez aquapriony, technologie dezynfekcji wody i ścieków promieniami ultrafioletowymi, czy też nowe technologie przeróbki osadów ściekowych i wiele innych, z których niektóre przedstawiono jako przykłady w kolejnych rozdziałach.

Doskonałym przykładem zastosowania innowacyjnych rozwiązań wodno-ściekowych, na poziomie światowym, jest państwo-miasto Singapur, który jeszcze w latach 60-tych XX wieku, w dziedzinie gospodarki wodnej, miał sytuację typową dla reszty państw azjatyckich. Singapur rozwiązał swoje problemy wodne stosując nowy sposób myślenia. Ciekawym rozwiązaniem w tym względzie jest wybudowanie zapory morskiej na ujściu rzeki do morza, aby uzyskać zbiornik wody słodkiej, po uprzednim unieszkodliwieniu wszystkich źródeł zanieczyszczeń w zlewni tej rzeki i wymianie wód słonych z powstałego zbiornika, czy też produkcja tzw. **nowej wody** (ang. new water) do picia ze ścieków, po jej uzdatnieniu prawie do poziomu wody destylowanej, dostarczanej dla ludności.

## Bibliografia

1. Gromiec M.: Woda – Problem globalny. *Gospodarka Wodna* 7, 257-259, 2013.
2. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Plan ochrony zasobów wodnych Europy. Bruksela 14.11.2012 (COM/2012/673 final).
3. Rezolucja Zgromadzenia Ogólne ONZ. Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030. Nowy Jork 25.09.2015.



## 2. Woda w encyklice papieskiej

W walce o czystą wodę szczególnie istotne są stanowiska autorytetów światowych. Warto, przykładowo podkreślić, że Papież Franciszek, w swojej encyklice uznał sprawę czystej wody za najważniejszej wagi na świecie. Encyklika „*Laudato Si – W trosce o wspólny dom*” Ojca Świętego Franciszka z dnia 24 maja 2015 roku [1], zarysowała przyczyny sytuacji ekologicznej świata, w tym między innymi związek między sytuacją ekologiczną i ekonomiczną a globalnymi zmianami klimatycznymi. Tytuł został oparty o słowa hymnu „*Laudato si, mi Signore – Pochwalony bądź, Panie mój*”, którymi rozpoczyna się większość strof pieśni słonecznej śpiewanej przez świętego Franciszka z Asyżu, chwaleącego stworzenie świata. W tym miejscu wypada powołać się również na strofę o wodzie, w której przedstawiona została jako bardzo pożyteczna i cenna. Rozdział oparto o artykuł autora [2].

### 2.1. Obraz ekologiczny Ziemi i kwestia wody

Encyklika składa się z wprowadzenia i sześciu rozdziałów, które opisują nie tylko objawy obecnej sytuacji i ich przyczyny, ale również wskazują rozwiązania. Wprowadzenie zawiera przesłanie dotyczące ochrony Ziemi – jako naszego wspólnego domu, które wyraża troskę o zjednoczenie ludzkości w dążeniu do zrównoważonego i zintegrowanego rozwoju, do którego potrzebna jest nowa powszechna solidarność. Dlatego, korzystając z wyników badań, dokonano przeglądu różnych aspektów obecnego kryzysu ekologicznego i analizy przyczyn tej sytuacji oraz nakreślono ogólne kierunki dialogu i działań.

W rozdziale pierwszym encykliki zawarto szereg zagadnień, dotyczących naszej planety, takich jak: zanieczyszczenie i globalne ocieplenie, kwestia braku wody, zatracanie różnorodności, pogorszenie jakości życia, upadek społeczny, globalna niesprawiedliwość, słabość reakcji oraz zróżnicowanie opinii. We wstępie do tego rozdziału, podkreślono, że nieustannie wzrastająca szybkość przemian ludzkości i naszej planety łączy się z intensywnością rytmu życia i pracy w tym, co zostało określone jako przyspieszenie, ale cele tych szybkich i ciągłych zmian nie są ukierunkowane na ludzki rozwój.

Przedstawiając sprawę zanieczyszczeń, wpływających na ludzi, odniesiono się do zanieczyszczenia powietrza, powstawania odpadów, w tym do odpadów niebezpiecznych, stwierdzając, że nie udało się wprowadzić zamkniętego modelu produkcji. Natomiast w zakresie klimatu, wskazano, że istnieje konsensus naukowy wskazujący na globalne ocieplenie systemu klimatycznego, co wymaga konieczności

zmiany stylu życia, produkcji i konsumpcji, aby powstrzymać lub przynajmniej wyeliminować przyczyny antropogeniczne.

Waga kwestii wody, w ekologicznej sytuacji naszej planety, została wyraźnie przestawiona na tle wyczerpywania się zasobów naturalnych, biorąc pod uwagę zarówno ilość jak i jakość wody. Szczególne znaczenie zostało nadane ilościowej kwestii czystej wody do picia, która została uznana za sprawę najwyższej wagi, bowiem w wielu miejscach na świecie popyt na nią przewyższa zrównoważoną podaż. Światowa sytuacja jest zróżnicowana, bowiem oprócz regionów bogatych w wodę, istnieją takie, które cierpią na jej poważny brak. Przykładem podanym w encyklice jest Afryka, gdzie znaczna część ludności nie ma dostępu do bezpiecznej wody do picia lub cierpi ze względu na występujące susze, które również uniemożliwiają produkcję rolną. Waga wody, w encyklice, wynika z faktu, że jest ona niezbędna do życia człowieka oraz do utrzymania systemów lądowych i wodnych, jak też wykorzystywana sody słodkiej do różnych celów, takich jak: rolnictwo, hodowla, przemysł. Wskazano, że duże miasta również mają problemy z wodą i uzależnione są od jej gromadzenia, natomiast zasoby wodne nie są odpowiednio i bezstronnie zarządzane, w okresach krytycznych.

Szczególną uwagę zwrócono na jakość wody do picia, podkreślając, że wpływa ona na zdrowie ludzi. Za ważny problem uznano niewłaściwą jakość wody, która jest dostarczana dla ludzi ubogich, wywołując szereg chorób, w tym dyzenterię i cholere, powodujących zachorowalność oraz śmiertelność dorosłych i dzieci. Za istotne uznano zanieczyszczenie wód podziemnych w wielu miejscach na świecie (gdzie nie ma stosownych regulacji i kontroli), spowodowane przez działania wydobywcze, rolnicze i przemysłowe. Dotyczy to nie tylko zanieczyszczeń zawartych w ściekach przemysłowych, ale też detergentów i innych środków chemicznych, które przedostają się do wód śródlądowych i mórz, powodując, że jakość wód na świecie stale się pogarsza. Wskazano też na substancje powodujące zakwaszenie wody oraz na fakt, że zanieczyszczenie spowodowane dwutlenkiem węgla zwiększa kwasowość oceanów i zagraża łańcuchowi pokarmowemu w środowisku wodnym.

Niezależnie od powyższych problemów ilościowych i jakościowych, wskazano, że w niektórych miejscach na świecie, następuje pewna skłonność do prywatyzacji niewystarczających zasobów wodnych, które stają się towarem podporządkowanym prawom rynku. W tym miejscu warto wspomnieć, że w preambule Ramowej Dyrektywie Wodnej stwierdzono, że woda nie jest produktem komercyjnym, takim jak każdy inny, lecz dziedzictwem, które musi być chronione i bronię. Podkreślono, że dostęp do bezpiecznej wody pitnej jest fundamentalnym i powszechnym prawem człowieka, ponieważ determinuje przeżycie ludzi. Brak dostępu ludzi ubogich do wody pitnej, został przedstawiony jako dług społeczny

świata, ponieważ został uznany za „odmawianie ludziom prawa życia, zakorzenionego w ich niezbywalnej godności”. Dług ten spłacany jest w części poprzez pomoc w finansowaniu inwestycji zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków.

Wskazano na fakty marnotrawstwa wody, występujące zarówno w państwach rozwiniętych jak i w państwach rozwijających się, które mają znaczne zasoby wodne, jak też odniesiono się do problemu wody, który jest częściowo kwestią edukacji i kultury. Wyrażono też pogląd, że zwiększenie niedoborów wody na świecie spowoduje wzrost kosztów żywności i innych produktów z nią związanych. Podkreślono, co wynika z niektórych badań, że w ciągu kilku dziesięcioleci nastąpi niebezpieczeństwo dotkliwego braku wody na świecie, o ile nie zostaną podjęte w trybie pilnym stosowne działania. Różnorodne oddziaływania na środowisko mogą wywierać wpływ na życie miliardów ludzi, co niewątpliwie jest szczególnie związane z przyszłą sytuacją wodną świata. Papież Franciszek uważa, że „kontrola wody przez wielkie korporacje stanie się głównym źródłem konfliktów w tym wieku”.

## 2.2. Znaczenie wody i propozycje rozwiązań

Woda, w różnym kontekście, wymieniana jest również w innych rozdziałach encykliki. Już we wstępie wskazano, że woda ożywia nas i odnawia. W rozdziale piątym, podkreślono, że niezbędne jest porozumienie globalne, które prowadziłyby między innymi do zapewnienia wszystkim dostępu do wody pitnej. W tym rozdziale, przedstawiono również problem odpadów morskich, jak też konieczność ochrony obszarów morskich leżących poza granicami poszczególnych państw. Wskazano, że w tym aspekcie potrzebne jest porozumienie w sprawie globalnych systemów zarządzania dla tzw. globalnych dóbr wspólnych. Podkreślając, że woda jest zasobem niewystarczającym i niezbędnym, stwierdzono, że dostęp do wody jest prawem podstawowym, uzależniającym możliwość korzystania z innych praw człowieka. W powyższym względzie, ważne jest następujące stwierdzenie: „*nie ulega to wątpliwości i wykracza poza wszelkie analizy oddziaływania na środowisko regionu*”. Natomiast w rozdziale szóstym, podkreślono, że woda wykorzystana podczas chrztu stanowi znak nowego życia. W celu rozwiązania globalnych problemów ekologicznych, uznano za niezbędne porozumienie globalne, które prowadziłyby do: „równoważonego i różnicowanego rolnictwa, rozwijania odnawialnych i mało zanieczyszczających form energii, promowanie większej efektywności energetycznej, krzewienia lepszego zarządzania zasobami leśnymi i morskimi, zapewnienia wszystkim dostępu wody pitnej”. Ustanowione globalne ramy regulacyjne nakładałyby obowiązki i zapobiegałyby niedopuszczalnym działaniom.

### 2.3. Podsumowanie

Rozdział ten ma za zadanie jedynie przybliżyć ogólną treść encykliki, ze szczególnym przedstawieniem treści związanych z kwestią wody, na tle problemów ekologicznych świata. Szereg zagadnień dotyczących zasobów wodnych, przedstawionych w encyklice, znajduje odzwierciedlenie w oficjalnych dokumentach i raportach Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ). Oczywiście nie mają one jednak tak szerokiego oddziaływania jak encyklika. Skierowana jest ona do całej ludzkości, niezależnie od poglądów. Encyklika, ze względu na jej światowe oddziaływanie, z pewnością jest wnikliwie analizowana przez społeczność międzynarodową. Równocześnie, z uwagi na jej znaczenie, stanowi przedmiot dalszych studiów, zarówno w zakresie pełnego zrozumienia jej treści, jak również praktycznego wykorzystania i dalszego rozwinięcia zawartych w niej rozwiązań.

Najważniejszym jest fakt uznania przez Papieża Franciszka kwestii czystej wody do picia za sprawę najwyższej wagi na świecie.

W tym miejscu stosowne jest przypomnienie co w sprawie wody, w lipcu 2000 roku, stwierdził nasz Wielki Rodak – święty Jan Paweł II: **„Brak wody może być najważniejsza kwestią, z jaką ludzkość będzie miała do czynienia w najbliższej przyszłości. Nie wystarczy myśleć o dzisiejszych potrzebach, ponosimy wielką odpowiedzialność wobec przyszłych pokoleń”**.

### Piśmiennictwo

1. Ojciec Święty Franciszek: Encyklika LAUDATO SI – W trosce o wspólny dom. Rzym, 24 maja 2015. M Wydawnictwo Kraków 2015.
2. Gromiec M.: Kwestia wody na tle problemów ekologicznych świata w encyklice „Laudato Si”. Gospodarka Wodna 10,281-282, 2015.

### 3. Wpływ regulacji prawnych na rozwój ochrony wód

Prawo wodne, 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. Przedstawiono zarys wpływu prawodawstwa na rozwój ochrony wód w Europie i USA, w ujęciu historycznym [4-5].

#### 3.1. Wpływ prawodawstwa na ochronę wód w Europie

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. Spowodowało to znaczny wzrost zainteresowania oczyszczaniem ścieków w wielu państwach, w których zaczęły pojawiać się różne metody ich oczyszczania. Wprowadzenie w życie standardów dla oczyszczanych ścieków spowodowało zastosowanie nowych rozwiązań technologicznych dla oczyszczania ścieków. W 1914 roku, odkryta została w Europie jedna z głównych metod biologicznego oczyszczania ścieków – metoda osadu czynnego, co było ściśle związane z połączeniem nauki z praktyką, która początkowo, z różnymi modyfikacjami, została zastosowana do oczyszczania ścieków komunalnych, a następnie do ścieków przemysłowych (patrz rozdział 15).

Od połowy lat 70-tych XX wieku, wydano we Europejskiej Wspólnocie Gospodarczej (EWG) wiele dyrektyw Rady związanych z problematyką ochrony wód. Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW, 2000/60/UE) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku, weszła w życie, w dniu 22 grudnia 2000 roku w państwach członkowskich Unii Europejskiej, stanowiąc kamień milowy dla ustanowienia ram dla nowoczesnej ochrony wód przed zanieczyszczeniami. Położyła nacisk między innymi na zapobieganie dalszej degradacji wód i na poprawę stanu ekosystemów wodnych, poprzez ochronę wód opartą 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 Unii Europejskiej (UE). Dlatego też w państwach członkowskich UE 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 [1].

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, ale 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.

W 2014 roku, w Unii Europejskiej została zaproponowana koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym, a 2015 roku przedstawiono plan działania w tym zakresie. Gospodarka cyrkulacyjna ma szczególne zastosowanie nie tylko w gospodarce odpadowej, ale również w gospodarce wodnej – ściekowej – osadowej, ponieważ otwiera nowe szanse i jest inspiracją do innowacyjnych rozwiązań, szczególnie w odnowie wody ze ścieków oraz w zagospodarowaniu osadów ściekowych, wraz odzyskiem surowców, a szczególnie odzysku nutrientów, energii i wody (patrz rozdział 20).

### 3.2. Wpływ prawodawstwa na ochronę wód w USA

W USA, przyjęto standardy dla wody do picia już w 1912 roku. Wydano też różne akty prawne związane z gospodarowaniem wodą, w tym Prawo wodne. 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. Clean Water Act – CWA, P.L. 92-500), które ustanowiło 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.

Następna nowelizacja z 1987 roku, zwana Prawem Jakości Wody zaostriżyła dotychczasowe regulacje prawne wprowadzając ostre kary za przekraczanie warunków pozwoleń oraz uregulowała sprawę identyfikacji i ograniczenia zanieczyszczeń toksycznych w osadach ściekowych. Przyznanie środki budżetowe 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. Program 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).

Realizacja zastosowania konkretnych rozwiązań technicznych, wymagała zastosowania modeli matematycznych jakości wód, co związane było między innymi z oceną stanu zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych oraz ustaleniem stopnia oczyszczania ścieków i redukcji zanieczyszczeń obszarowych w zlewniach rzek. Pierwszy model jakości wody został opracowany w USA dla wód powierzchniowych płynących, już w 1925 roku [2]. Zapoczątkował dalszy rozwój modelowania matematycznego jakości zasobów wodnych, który nastąpił na skutek intensywnego rozwoju systemów komputerowych i systemów informacji przestrzennej oraz wsparcia U.S.EPA. Umożliwiło to praktyczne zastosowanie modeli matematycznych jakości wód zintegrowanych z systemami informacji przestrzennej, a nawet z technikami teledetekcyjnymi [3].

Wiek XXI, przyniósł w USA całkowicie nową sytuację dla amerykańskich oczyszczalni ścieków, związaną szczególnie z nowym paradygmatem gospodarki wodno-ściekowej. Paradygmat „NEW” (Nutriety – Energia – Woda) dotyczy odzysku substancji biogennej, energii i wody ze ścieków i osadów ściekowych. Oczyszczalnie przekształcają się w zakłady produkcji odzyskiwanych zasobów, w tym produkujących wodę, wodór, bioplastiki i substancje biogenne, szczególnie fosfor. Spowodowany był przez zaostrzające się przepisy ochrony zasobów wodnych, które znacznie zwiększają koszty ich ochrony. Dlatego, dąży się do maksymalizacji ochrony wód śródlądowych i morskich w zlewniach, dorzeczach i zlewiskach, przy najmniejszych kosztach społecznych, poprzez nowe idee i podążające za nimi nowe technologie. Celem staje się nie tylko zgodna z przepisami poprawa środowiska wodnego, ale również generowanie zysków i wynikających z tego korzyści społecznych.

### **3.3. Podsumowanie**

Skutki zmian klimatycznych i rozwój cywilizacji, w tym wzrost ludności świata i szybka urbanizacja, powodują ciągle powstawanie nowych zagrożeń związanych z jakością wody. Zmiany cywilizacyjne powodują znaczne zmiany jakościowe powstających ścieków, co związane jest między innymi 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.

Również niewłaściwe zagospodarowanie powstających dużych ilości osadów ściekowych, powstających w wyniku biologicznego oczyszczania ścieków, zagraża życiu ludzi i zwierząt w związku z zagrożeniami chorobotwórczymi oraz możliwościami skażenia gleb metalami ciężkimi i substancjami toksycznymi. Zastosowane w praktyce technologie, takie jak: hydroliza termiczna osadów lub technologia odzysku fosforu i azotu z odcieków pochodzących z przeróbki osadów ściekowych, stanowią przykłady innowacyjnych zmian technologicznych, pozwalających na odzysk energii i różnego rodzaju substancji.

Obecna polityka wodna Unii Europejskiej, oparta głównie o zarządzanie wodą w zlewniach rzek, dotyczy przede wszystkim ochrony wód śródlądowych, ale uwzględnia ochronę wód morskich. Ochrona zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami, w swoich działaniach przesunęła się ze źródła punktowego danego odbiornika wodnego na źródła wielopunktowe i obszarowe w zlewniach rzek, a nawet na całych obszarach zlewisk morskich. Istotą polityki wodnej w zlewiskach mórz staje się za tym osiągnięcie dobrego stanu wód powierzchniowych zabezpieczającego wody śródlądowe i morskie między innymi przed procesem eutrofizacji i substancjami toksycznymi, przy najmniejszych kosztach społecznych.

Nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne ochrony wód przed zanieczyszczeniami będą ciągle rosły, co związane jest z próbami nadążania za wprowadzanymi nowymi strategiami ochrony wód, zaostreniem wymogów oczyszczania ścieków i standardów jakości ujmowanej i uzdatnianej wody. Również nowe formy zanieczyszczeń, w tym: refrakcyjnych i związanych z substancjami farmakologicznymi, między innymi z antybiotykami, estrogenami, chemioterapeutykami, jak też przykładowo z zawartością małych cząsteczek plastyku w wodach, w tym w wodzie do picia, czy też z zagrożeniem bakteriologicznym, wymagają innowacyjnych rozwiązań technicznych oraz technologicznych, co często związane będzie z koniecznością dodatkowych nakładów.

Innowacyjne rozwiązania winny być opracowywane i wspomagane regulacjami prawnymi, ale też należy również poszukiwać i wdrażać nowe koncepcje dotyczących gospodarki wodno-ściekowej, pozwalających na obniżanie kosztów ochrony wód. Takie możliwości stwarzają obecnie: nowy paradygmat „NEW” oraz gospodarka cyrkulacyjna, szczególnie w stosunku do odzysku wody i zagospodarowania osadów ściekowych (patrz rozdział 20).

Na świecie, wprowadzane zostały, obok aktów dotyczących gospodarki wodnej, samodzielne akty prawne, rangi ustawowej, odniesione do ochrony wód



przed zanieczyszczeniami, z uwagi na coraz bardziej skomplikowaną materię merytoryczną, która ciągle się powiększa o nowe zagadnienia. Polska, jako państwo należące do państw tzw. „stresu wodnego”, powinna również podążać powyższą drogą. W prawodawstwie krajowym istnieją dotychczas dwa akty prawne dotyczące wody: ustawa Prawo wodne oraz ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Nie ma formalnych przeszkód, aby perspektywiczna trzecia ustawa o ochronie wód śródlądowych i morskich uregulowała wszystkie zagadnienia dotyczące jakości wód oraz ich ochrony przed zanieczyszczeniami, odciążając tym samym zbyt obszerne obecne nowe Prawo wodne, które mogłoby w tym zakresie zawierać tylko ogólne zasady prawne ochrony środowiska wodnego.

Polityka wodna UE oparta jest głównie na aktach prawnych dotyczących ochrony wód, której kluczowym elementem jest osiągnięcie dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych oraz ochrona wód morskich. Ochrona wód przed zanieczyszczeniem jest też oparta na zarządzaniu wodą w dorzeczach. Obecna polityka ochrony wód związana jest głównie z ochroną jakości wód, jednakże przyszłościowa polityka wodna będzie związana z realizowaniem ochrony jakości wody przy najmniejszym koszcie, spowodowanym przez innowacje i wprowadzane nowe koncepcje. W tym względzie gospodarka o obiegu zamkniętym w Europie jest zbieżna jest z nowym paradygmatem „NEW” dla oczyszczalni ścieków w USA. Jednak sprawy jakości wody, w skali globalnej, nie rozwiąże się bez zmiany stylu życia ludzi i włączenia się całych społeczeństw w walkę o czystą wodę.

## **Bibliografia**

1. 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).
2. Streeter H.W., Phelps E.B.: A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin No.146. US Public Health Service, US Government Printing Office. Washington, D.C., 1925.
3. Gromiec M.: Zastosowanie modeli matematycznych i systemów informatycznych a zlewniowej ochronie wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem. Monografia IMGW, Warszawa 2008.
4. Gromiec M.: Wpływ regulacji prawnych na rozwój technologii oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów. W: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód. (Water Supply and Water Quality), red. Z. Dymaczewski i inn. PZiTS – Oddział Wielkopolski, Poznań 2018.
5. Gromiec M.: Wpływ regulacji prawnych na rozwój technologii oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów ściekowych – narodziny nowoczesnej ochrony wód w Europie i USA. *Gospodarka Wodna* 3, 72-75, 2018.

## 4. Zarządzanie gospodarką i ochroną wód w kraju

Gospodarka wodna jest dziedziną gospodarki narodowej jak również dyscypliną naukową. Poglądy na gospodarkę wodną i jej rolę zmieniają się w czasie, a wyrazem tego mogą być różne definicje, zawarte w krajowym piśmiennictwie z okresu drugiej połowy XX wieku. Przykładem jest następująca definicja:

*„Gospodarka wodna jest dziedziną gospodarki narodowej silnie powiązaną i głęboko wkraczającą w inne dziedziny życia gospodarczego. Jej celem jest dostosowanie naturalnych warunków wodnych występujących w przyrodzie do potrzeb człowieka. Polega to zarówno na regulowaniu wykorzystania zasobów wodnych kraju i ich ochronie przed zanieczyszczeniem, jak i na walce ze szkodliwym działaniem żywiotu wodnego”*[1].

Wiele definicji jednoznacznie wskazuje na wielodyscyplinarność i wielokierunkowość gospodarki wodnej jako dziedziny gospodarki i dyscypliny naukowej, zajmującej się gospodarowaniem zasobami wodnymi oraz ochroną zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem. Można w uproszczeniu przyjąć, że gospodarka wodna i ochrona wód stanowią dwie strony tej samej monety. Wiele programów prowadzonych w kraju dotyczyło wspólnie rozwiązywanych zagadnień związanych zarówno z racjonalnym wykorzystaniem zasobów wodnych, jak też z zapewnieniem wody o odpowiedniej jakości, łączących się z zapobieganiem powstawania i efektywnym unieszkodliwianiem zanieczyszczeń. Pod koniec XX wieku, zagadnienia te rozwiązywane były za pomocą nowoczesnych narzędzi, takich jak geograficzne systemy informatyczne (GIS) oraz komputerowe modelowanie ilości i jakości zasobów wodnych.

### 4.1. Zarządzanie wodą w ujęciu historycznym

Zarządzanie zasobami wodnymi słodkimi i morskimi w Polsce, na przestrzeni ostatnich stu lat, doświadczyło rozliczne zmiany i reorganizacje, przyjmując różne nazwy i struktury organizacyjne. Równocześnie zaczęły powstawać stowarzyszenia społeczne związane z wodą, czego przykładem jest powstałe w dniu 1 października 1918 roku Stowarzyszenie Pracowników na Polu Rozwoju Żeglugi „Bandera Polska”, które przekształciło się w Towarzystwo Ligi Żeglugi Polskiej, a następnie w 1924 roku przyjęło nazwę Liga Morska i Rzeczna.

Po odzyskaniu niepodległości, już na początku 1919 roku, działał Wydział Hydrograficzny w Ministerstwie Robót Publicznych. W dniu 19 września 1922 roku, uchwalono ustawę wodną, której tekst jednolity, po szeregu uzupełnieniach, opublikowano w roku 1928 (Dz.U. RP z 1928, nr 62, poz. 574 oraz z 1934 nr 110, poz. 976), która obowiązywała zarówno w okresie międzywojennym

i powojennym (zm. z 1947 – nr 32, poz. 142, z 1950 – nr 10 poz.108, z 1952 – nr 18, poz. 110. Obowiązywało również rozporządzenie Prezydenta RP z dnia 16 marca 1928 roku o usuwaniu nieczystości i wód opadowych (Dz.U. RP z 1928, nr 90, poz. 581, i z 1948, nr 14, poz. 317).

W 1932 roku, zniesiono Ministerstwo Robót Publicznych, a kompetencje administracji gospodarki wodnej zostały podzielone pomiędzy trzy ministerstwa. Ministerstwo Spraw Wewnętrznych, przy którym od roku 1930 istniała Międzyministerialna Komisja Ochrony Rzek przed Zanieczyszczeniem, zajmowało się wodociągami i kanalizacją oraz ochroną rzek. Ministerstwo Rolnictwa i Dóbr Państwowych – zajmowało się melioracjami i regulacją małych rzek i potoków górskich), a Ministerstwo Komunikacji – budową kanałów, regulacje rzek małych i potoków górskich, budowa obiektów wodnych, konserwacji i utrzymania dróg wodnych śródlądowych). Sytuacja taka praktycznie utrzymywała się do wybuchu drugiej wojny światowej. Podczas okupacji, w Generalnej Guberni, działały trzy Dyrekcje Gospodarki Wodnej: w Krakowie, Lwowie i Warszawie.

Po drugiej wojnie światowej, w roku 1945, powołano Ministerstwo Komunikacji z Departamentem Dróg Wodnych, a w 1948 roku powstała Dyrekcja Dróg Wodnych z Państwowymi Zarządami Wodnymi. W dniu 2 września 1950 roku, ukazało się, ważne z punktu ochrony wód, rozporządzenie Ministra Gospodarki Komunalnej w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do zbiorników wód powierzchniowych i do ziemi (Dz.U. nr 41, poz.371).

W 1951 roku, powstało Ministerstwo Żeglugi i powołano Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego „Hydroprojekt”. Równocześnie, w 1951 roku, powołany został Urząd Pełnomocnika ds. Gospodarki Wodą Pitną i powołano Przemysłową Państwową Komisję Planowania Gospodarczego (PKPG), na podstawie uchwały Prezydium Rządu nr 261 z dnia 7 kwietnia 1951 roku.

Od 1952 roku, działały Zarządy Okręgowe Dróg Wodnych, a od roku 1954 – Rejony Dróg Wodnych. W czerwcu 1954 roku, zarządzeniem Prezesa Rady Ministrów, powołano Państwową Inspekcję Ochrony Wód (PIOW), podporządkowaną Ministerstwu Gospodarki Komunalnej (MP nr A69, poz.863). W dniu 20 sierpnia 1955 roku wydano uchwałę Prezydium Rządu nr 669 w sprawie ochrony wód przed zanieczyszczeniem oraz zapobieganiem szkodliwemu działaniu ścieków i ich gospodarczego zagospodarowania. W roku 1957, utworzono Urząd Ministra Żeglugi i Gospodarki Wodnej (Dz.U. nr 31, poz.130), któremu w 1959 roku podporządkowano PIOW.

W 1960 roku, powstał nowy organ administracyjny – Centralny Urząd Gospodarki Wodnej (CUGW), powołano też Okręgowe Zarządy Wodne. W kwietniu 1960 roku powołano do życia Instytut Gospodarki Wodnej (IGW) – podległy

temu urzędowi, który prowadził prace naukowo badawcze i usługowe między innymi w zakresie: zwiększenia dyspozycyjnych zasobów wodnych i polepszenia ich wykorzystania, oczyszczania ścieków i ochrony wód. IGW powierzono również opracowanie planu perspektywicznego gospodarki wodnej w oparciu o plany regionalne.

W dniu 17 lutego 1960 roku uchwalono ustawę o zaopatrzeniu ludności w wodę (Dz.U. z 1960, nr 11, poz. 72; zm. Dz.U. z 1962, nr 34, poz. 150), a dniu listopada 1961 roku wydano rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia (Dz.U. nr 59, poz. 333). W dniu 31 stycznia 1961 roku przyjęto ustawę o ochronie wód przed zanieczyszczeniem (Dz.U. z 1961 nr 5, poz. 33), która utraciła moc z dniem wejścia w życie ustawy Prawo wodne z dnia 30 maja 1962 roku (Dz.U. z 1962, nr 34 poz. 158). Na podstawie tej ustawy wydano rozporządzenie Prezesa RM z dnia 28 lutego 1962 roku określające dopuszczalne normy zanieczyszczeń oraz warunki, jakim powinny odpowiadać ścieki odprowadzane do wody i do ziemi (Dz.U. nr 17, poz.75, które zachowało moc, zgodnie z art. 172 Prawa Wodnego z 1962 roku, do czasu wydania przepisów wykonawczych opartych na art. 83 tego Prawa Wodnego).

Rosła świadomość groźnych zagrożeń związanych ze ściekami komunalnymi oraz przemysłowymi [2]. Rosnący problem zanieczyszczenia wód w Polsce, w latach 1945-1961, przedstawił prof. dr hab. Dariusz Jarosz [3]. W 1963 roku, powstał, opracowany przez IGW „Ogólnopolski perspektywiczny plan rozwoju gospodarki wodnej na lata 1961-1980”. Należy podkreślić, że CUGW oszacował, że straty spowodowane zanieczyszczeniem wód wynoszą 2-3 mld zł roczne.

Jednak w 1972 roku, zlikwidowano CUGW, co spowodowało również likwidację Centralnego Zarządu Dróg Śródlądowych i powołanie Okręgowych Dyrekcji Gospodarki Wodnej. W 1972 roku, sprawy gospodarki wodnej podzielono na: Ministerstwo Rolnictwa i Ministerstwo Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska (MGTiOŚ) – powołane w roku 1972 oraz Ministerstwo Komunikacji. Utworzony, w 1973 roku, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), w wyniku połączenia Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego (PIHM) z Instytutem Gospodarki Wodnej (IGW), podporządkowany został Departamentowi Nauki i Techniki Ministerstwu Rolnictwa, które przejęło sprawy związane z ilościową gospodarką wodną. Sprawy związane z żeglugą z podporządkowano Ministerstwu Komunikacji. W dniu 24 października 1974 roku weszła w życie ustawa Prawo Wodne (Dz.U. nr 38, poz.239, z póź. zm.).

W roku 1983, powołano Urząd Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, a po przyłączenia do niego Ministerstwa Leśnictwa oraz Centralnego Urzędu Geologii, zmieniono nazwę na Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych

i Leśnictwa (MOŚZNiL), w którym istniały: Departament Ochrony Wód i Departament Gospodarki Wodnej. W roku, utworzono siedem Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej (RZGW).

W 1997 roku, nastąpiła nowelizacja Prawa wodnego. W MOŚZNiL, w 1998 roku, w miejsce Departamentu Gospodarki Wodnej utworzono Departament Zasobów Wodnych. W 1999 roku, NOŚZNiL zmieniło nazwę na Ministerstwo Środowiska. Równocześnie wydano rozporządzenie o połączeniu RZGW z Okręgowymi Dyrekcjami Gospodarki Wodnej (ODGW). Połączone nowe RZGW rozpoczęły działać z dniem 1 stycznia 2000 roku. W maju 2000 utworzono Biuro Gospodarki Wodnej.

Okres przedakcesyjny to trudny dla krajowej gospodarki wodnej proces transpozycji wielu dyrektyw wodnych do krajowego porządku prawnego, szczególnie z zakresu ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem. Dodatkowo, Wspólnota Europejska, której Polska stała się członkiem prawnym w dniu 1 maja 2004 roku, wprowadziła, od grudnia 2000 roku Ramową Dyrektywę Wodną, ustanawiającą ramy Wspólnoty w dziedzinie gospodarki wodnej.

W dniu 7 czerwca 2001 roku uchwalono ustawę o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Po opublikowaniu tekstu jednolitego tej ustawy w dniu 12 czerwca 2006 roku (Dz.U. z 2006 nr 123, poz. 858, z póź. zm.) nastąpiło szereg niekończących się nowelizacji tej ustawy. W dniu 18 lipca 2001 roku, wydano nowe Prawo wodne (Dz.U. nr 115, poz.1229; zm. Dz.U. nr 154, poz. 1803). W dniu 30 czerwca 2006 roku nastąpiła likwidacja Biura Gospodarki Wodnej, a w dniu 1 lipca 2006 roku utworzono Urząd Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW).

## **4.2. Aktualna sytuacja w zarządzaniu wodą**

Ustawa Prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 roku (Dz.U. poz.1566), która w zakresie swojej regulacji wdrożyła osiem dyrektyw wodnych, w tym: dyrektywę 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku – ustanawiającą ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz. Urz. WE L 375 z 31,12.2000), jak też dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku – ustanawiającą ramy działania Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego, zwana dyrektywą ramową w sprawie strategii morskiej (Dz. Urz. UE L 164 z 25. 06. 2008).

Według ustawy z 2017 roku, minister właściwy do spraw gospodarki wodnej stał się naczelnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach gospodarowania wodami, a Państwowa Rada Gospodarki Wodnej stała się organem opiniodawczo-doradczym tego ministra. Ministerstwo Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (MGM i ŻŚ) zajęło się gospodarką morską i gospodarką

wodną, żegluga śródlądową i rybołówstwem, a za gospodarkę wodną odpowiedzialny były Departament Gospodarki Wodnej i Żeglugi Śródlądowej. Gospodarka wodna została wyłączona z Ministerstwa Środowiska.

Zarządzanie zasobami wodnymi realizowano z uwzględnieniem podziału terytorium RP na: obszary dorzeczy, regiony wodne i zlewnie. Ich granice ustaliło powołane Państwowe Gospodarstwo Wodne (PGW) „Wody Polskie”, które wykonuje prawa właścicielskie dla wód publicznych stanowiących własność Skarbu Państwa, w stosunku do: śródlądowych wód płynących i wód podziemnych (z wyłączeniem śródlądowych wód wodnych o szczególnym znaczeniu transportowym). Struktura Wód Polskich obejmuje: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW), regionalne zarządy gospodarki wodnej – RZGW (w Białymstoku, Bydgoszczy, Gdańsku, Gliwicach, Krakowie, Lublinie, Poznaniu, Rzeszowie, Szczecinie, Warszawie, Wrocławiu), 50 zarządów zlewni, 330 nadzorów wodnych.

W roku 2020 nastąpiły kolejne zmiany, bowiem w listopadzie 2020 roku gospodarka wodna przeszła na bardzo krótko do nowo utworzonego Ministerstwa Klimatu i Środowiska (Dz.U. z 2020, poz.1734). Następnie, zgodnie z Rozporządzeniem Prezesa RM, poz. 1722, Minister Infrastruktury rozpoczął kierowanie działami takimi jak: żegluga śródlądowa, gospodarka morska i rybołówstwo. Równocześnie nastąpiło ustanowienie Pełnomocnika Rządu do spraw gospodarki wodą oraz inwestycji w gospodarce morskiej i wodnej, w randze sekretarza stanu, na podstawie Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 13 listopada 2020 roku (Dz.U. 2020, poz. 2015). Według statutu Ministerstwa Infrastruktury, nadanego Zarządzeniem Prezesa RM nr 231 z grudnia 2020 roku (MP 2020, poz.1111) zadania Ministra Infrastruktury w zakresie dwóch działów (gospodarka wodna, żegluga śródlądowa) zapewniają: – Departament Gospodarki Wodnej i Żeglugi Śródlądowej oraz Departament Orzecznictwa i Kontroli Gospodarowania Wodami, natomiast w zakresie działu gospodarka morska – Departament Edukacji Morskiej oraz Departament Gospodarki Morskiej.

### 4.3.Podsumowanie

Z przedstawionego krótkiego rysu historycznego zarządzania zasobami wodnymi, wskazującego na ciągłe zmiany administracji gospodarki wodnej, wynika całkowity brak stabilności, zarówno na szczeblu centralnym, jak i regionalnym. Mało czytelny był podział zadań i kompetencji między powoływanymi organami, który cechował brak zrozumienia dla całokształtu potrzeb gospodarki wodnej. Regulowanie przez wiele ministrów spraw korzystania z wód do różnych celów, wpływało niekorzystnie na gospodarkę wodną, przy ciągłym jej nie dofinansowaniu.



Co istotne, działo się to w kraju o bardzo szczupłych i nadmiernie zanieczyszczonych zasobach wodnych, doświadczającym powodzi i susz. Nie szanowano zasad zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi, co nie sprzyjało rozwiązywaniu złożonych ilościowo – jakościowych problemów wodnych. Od końca lat 90-tych podejmowano różne starania. Starania przypadały na okres niezwykle ważnych zmian, które zaszły w tym czasie w Polsce, takich jak: transformacji gospodarki centralnego planowania na gospodarkę rynkową, okres przedakcesyjny, członkostwo w Unii Europejskiej i członkostwo w NATO. W okresie tym, zaszły również zasadnicze zmiany w: gospodarowaniu wodą, zarządzaniu zasobami wodnymi, prawodawstwie wodnym, co wywarło zasadniczy wpływ na strukturę administracji gospodarki wodnej oraz resortowych jednostek naukowych i ich działalność [4].

Można przyjąć, że zasadnicze zmiany zaczęły następować dopiero po roku 2000 i wejściu w życie unijnej Ramowej Dyrektywy Wodnej dotyczącej polityki wodnej w dorzeczach i zlewniach. Przystąpienie do Unii Europejskiej stworzyło bowiem warunki prawne dla zlewniowego systemu zarządzania gospodarką wodną. Wprowadzane zmiany w zarządzaniu zasobami wodnymi wpływały też na resortowe jednostki naukowo-badawcze związane z gospodarką wodną oraz na ich finansowanie i stan.

Warto w tym miejscu również przypomnieć, że już w drugiej połowie XX wieku Ekonomiczna Komisja Gospodarcza ONZ skierowała do rządów państw następujące zalecenie: *„Najlepszym sposobem uprawiania zarządzania zasobami wodnymi jest utworzenie organów regionalnych dla poszczególnych dorzeczy, dla części dorzeczy lub grup małych dorzeczy w dostosowaniu do warunków geograficznych i administracyjnych każdego państwa”*.

W wieku XXI, praktycznie od 2000 roku w Unii Europejskiej, następuje era Zintegrowanego Gospodarowania Zasobami Wodnymi (ang. Integrated Water Resources Management – IWRM). Według Globalnego Partnerstwa Wodnego (ang. Global Water Partnership) jest to proces, który promuje skoordynowany rozwój i gospodarowanie wodą, ziemią i związanymi zasobami, aby maksymalizować wynikający dobrobyt ekonomiczny i społeczny w sposób sprawiedliwy, bez narażania trwałości życiowych ekosystemów [5]. Otwiera to nowe możliwości dla dalszego rozwoju nauki i praktycznego zastosowania nowych rozwiązań w gospodarowaniu wodą i ochronie stanu wód.

## Bibliografia

1. Mikulski Z.: Zarys hydrografii Polski. PWN, Warszawa 1963.
2. Krysiński J.: Węzłowe problemy czystości wód (organizacyjne, techniczno-ekonomiczne i prawne). Gospodarka Wodna 10, 416-420,1961.

3. Jarosz D.: Problem zanieczyszczeń wód w Polsce w latach 1945-1961. Wstęp do badań. Roczniki Dziejów Społecznych i Gospodarki, t. LXXVI-2016.
4. Gromiec M.: Badania nad gospodarowaniem wodą i ochroną wód Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej na progu XXI wieku. Monografia Nr 170 Komitetu Inżynierii Środowiska. Wyd. Polskiej Akademii Nauk. Warszawa 2020.
5. Agrawal A. i inn.: Integrated water resources management. Global Water Partnership, Technical Advisory Committee (Paper No. 4). Stockholm 2000.



## **5. Wkład Stanów Zjednoczonych w ochronę wód w Polsce**

W rozdziale przedstawiono wkład USA w edukację polskich inżynierów i pracowników naukowych zakresie inżynierii sanitarnej, a następnie w zakresie inżynierii i ochrony środowiska. Istotny był też wkład w szkolenia, wymianę naukową, badania i praktykę dotyczącą ochrony środowiska, a szczególnie ochrony wód w Polsce. Przy opracowaniu tego rozdziału autor korzystał w znacznej mierze z kontaktów osobistych i swojej wiedzy, a w zakresie Politechniki Warszawskiej ze wspaniale opracowanej monografii [1].

### **5.1. Wkład w edukację w zakresie inżynierii sanitarnej**

W dziedzinie inżynierii sanitarnej należy podkreślić długoletnią owocną współpracę między Rzeczypospolitą Polską a Stanami Zjednoczonymi Ameryki Północnej (USA). Rząd USA, po odzyskaniu przez Polskę niepodległości, obawiając się wybuchu epidemii w zrujnowanym wojną kraju, przyznał stypendia naukowe na Uniwersytecie Harvarda w Cambridge (MA), posiadającym Szkołę Zdrowia Publicznego (ang. School of Public Health), od lat zajmującym ciągle pierwsze miejsce w Akademickim Rankingu Świata. Dwaj wybitni polscy uczeni, tacy jak: prof. Zygmunt Rudolf, który uzyskał stypendium Fundacji Rockefellera i w latach 1922-1925 studiował inżynierię sanitarną na Uniwersytecie Harvarda, uzyskując z wyróżnieniem tytuł mgr nauk inżynierii sanitarnej i miejskiej oraz prof. Aleksander Szniolis – stypendysta Fundacji Rockefellera, w latach 1924-1926, który również ukończył studia na Uniwersytecie Harvarda, po powrocie do Polski stworzyli podstawy inżynierii sanitarnej. Prof. Zygmunt Rudolf (1897-1990) w okresie międzywojennym kierował Działem Techniki Sanitarnej w Departamencie Służby Zdrowia Ministerstwa Zdrowia.

W 1950 roku, powstał Wydział Inżynierii Sanitarnej na Politechnice Warszawskiej, którego pierwszym dziekanem, w latach 1950-1953, był prof. zw. dr hab. inż. Włodzimierz Skalmowski (1899-1980) [1]. Natomiast prof. Zygmunt Rudolf, kierownik Katedry Techniki Sanitarnej od 1947 roku, pełnił dwukrotnie funkcję dziekana tego wydziału w latach 1953-1955 i 1960-1961, do przekształcenia w Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej (WISIW). W roku 1987, otrzymał tytuł doktora honoris causa Politechniki Warszawskiej. Jest twórcą i organizatorem inżynierii sanitarnej w Polsce, posiadającym tytuł „Pierwszego Inżyniera Sanitarnego”. Po wojnie opracował założenia programu dla wydziałów inżynierii sanitarnej, które powstały na politechnikach: Warszawskiej, Wrocławskiej oraz Śląskiej w Gliwicach. Prof. zw. dr inż. Marek F. Roman, wybitny uczony, promotor wielu prac magisterskich i doktorskich (w tym pracy magisterskiej i doktorskiej

autora), odbył staż badawczy w USA. Był wybitnym specjalistą z gospodarki wodno-ściekowej i ochrony wód, w 1986 roku, został członkiem honorowym Międzynarodowego Stowarzyszenia Wody (b. IWSA, obecnie IWA). Wniósł zasadniczy wkład w opracowanie standardów regulacji ekonomicznych, dostępności usług oraz metodologii ustalania opłat w sektorze wodno-kanalizacyjnym, przy pomocy technicznej Research Triangle Park, sponsorowanej przez Amerykańską Agencję ds. Rozwoju Międzynarodowego (US AID). W latach 1981-1987, dwukrotnie pełnił funkcję dziekana WISIW, a w latach 1988-1990 był Rektorem Politechniki Warszawskiej. Stworzył podstawy naukowe ekonomiki zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków. Wieloletni prezes Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych (PZITS), które od 1958 organizowało katowickie konferencje pt. „Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków”. Na WISIW Politechniki Warszawskiej pracowało wielu praktyków i profesorów, którzy wnieśli znaczny wkład w rozwój inżynierii sanitarnej, między innymi: wybitni specjaliści z wodociągów i kanalizacji prof. Ignacy F. Piotrowski (1879-1971), prof. zw. Wacław Błaszczuk (1904-1986) i profesora syn doc. dr inż. Paweł Błaszczuk (dyrektor Instytutu Ochrony Środowiska w latach 1990-1996), chemik prof. zw. Adam Chojnacki (1905-1983), pionier biologii sanitarnej prof. **Leon Bożko** (1907-1974), prof. zw. Józef Żabowski (1917-2003). Istniało też Międzynarodowe Studium Podyplomowe Inżynierii Sanitarnej, którego kierownikiem był twórca chemii sanitarnej prof. zw. Witold Hermanowicz (1904-1984), a profesora syn prof. dr inż. Sławomir W. Hermanowicz ukończył studia magisterskie na WISIW Politechniki Warszawskiej, obronił doktorat na Uniwersytecie Toronto i obecnie jest profesorem inżynierii środowiska Inżynierii Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley, uznanym specjalistą w oczyszczaniu ścieków.

Prof. Aleksander Szniolis (1891-1963), w okresie międzywojennym był organizatorem Oddziału Inżynierii Sanitarnej w Państwowej Szkole Higieny przy Państwowy Zakładzie Higieny (PZH), a po wojnie, w roku 1950 – Wydziału Inżynierii Sanitarnej (WIS) na Politechnice Wrocławskiej, którego był pierwszym dziekanem oraz kierownikiem Katedry Technologii Wody i Ścieków. Wykształcił wielu przyszłych profesorów, między innymi takich jak: Edward S. Kempa, Apolinary L. Kowal, Jerzy Kurbiel, którzy wnieśli duży wkład w ochronę wód i rozwój kadry naukowej i technicznej. Pierwszym historycznie absolwentem tego wydziału był prof. zw. dr hab. inż. Edward S. Kempa (1927-2006), wybitny nauczyciel akademicki, który stworzył dwie wrocławskie szkoły naukowe: osadów i odpadów. Prof. zw. dr hab. inż. Leszek Kowal (1925-2013) uzyskał stypendium Departamentu Stanu USA i studiował na Uniwersytecie Johns Hopkins w Baltimore, gdzie uzyskał dyplom magistra nauk inżynierii sanitarnej. Po powrocie do kraju stworzył wrocławską szkołę naukową z oczyszczania i odnowy wody.

Natomiast, prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Kurbiel (1933-2002) odbył, w latach 1963-1964, staż badawczy w Instytucie Roberta A. Tafta (Centrum Inżynierii Sanitarnej i Służby Zdrowia Publicznego) w Cincinnati, Ohio. Po powrocie do kraju, od 1969 roku pracował na Politechnice Krakowskiej, gdzie był w kraju pionierem badań nad odzyskiem wody ze ścieków. Stypendystami rządu USA byli specjaliści też z różnych dziedzin związanych z wodą, jak prof. zw. dr hab. inż. Romuald Rosłoński (1880-1956), absolwent Politechniki Lwowskiej i Politechniki Charlotenburga, któremu uzyskane stypendium w USA umożliwiło studiowanie na Uniwersytecie Columbia w Nowym Jorku. Pracował między innymi przy budowie wodociągu i metra miasta Nowy Jork. Po powrocie do kraju, brał udział przy budowie wielu wodociągów miejskich, a jako Politechniki Krakowskiej prowadził badania związane z hydrogeologią. Został uznany za nestora i pioniera hydrogeologii polskiej. Prof. zw. dr hab. inż. Henryk Mańczak (1921-1982), inżynier budownictwa, który po uzyskaniu Politechniki Wrocławskiej, od 1951 roku pracował w Katedrze Technologii Wody i Ścieków, którą kierował prof. A. Szniolis. W latach 1961-1972, kierował Zakładem Ochrony Wód w Instytucie Gospodarki Wodnej (IGW), a następnie został dyrektorem ds. naukowo-badawczych. W 1994 objął stanowiska dyrektora Oddziału Wrocławskiego Instytutu Kształtowania Środowiska (IKŚ).

W 1955 roku, powstał Wydział Inżynierii Sanitarnej (WIS) Politechniki Śląskiej w Gliwicach, którego pierwszym dziekanem został prof. zw. mgr inż. Eugeniusz Zaczyński (1899-1964). Na WIS Politechniki Śląskiej wykładał prof. dr hab. inż. Jerzy Gańczarczyk (1928-2013), absolwent inżynierii chemicznej tej uczelni, wybitny specjalista oczyszczania ścieków przemysłowych, który następnie pełnił funkcję dyrektora ds. naukowo-badawczych w b. Instytucie Gospodarki Wodnej (utworzonym w 1960 roku) oraz pierwszego co-managera Projektu WHO Poland-26. Od 1969 roku, pracował w Kanadzie jako profesor na Wydziale Inżynierii Lądowej i Wodnej Uniwersytetu Toronto. W Kanadzie, na Uniwersytecie Manitoba pracuje prof. dr inż. Jan Oleszkiewicz, wybitny specjalista w zakresie inżynierii środowiska. Absolwent WIS Politechniki Wrocławskiej, ukończył w 1966 roku kierunek inżynierii sanitarnej, ze specjalnością technologia wody, jak też studia w USA, gdzie uzyskał w 1972 roku tytuł magistra z ochrony wód, a w 1974 roku tytuł doktora z inżynierii środowiska na Uniwersytecie Vanderbilta w Nashville, Tennessee. W roku 2014, otrzymał tytuł doktora honoris causa na Politechnice Poznańskiej. W latach 90-tych XX wieku, wydziały inżynierii sanitarnej w Polsce, zgodnie z tendencjami światowymi, zaczęły przekształcać się w wydziały inżynierii środowiska i obecnie nadal się przekształcają, łącząc się z innymi kierunkami, co jest też typowe dla uniwersytetów amerykańskich

## 5.2. Wkład w wymianę naukową, badania i praktykę w ochronie wód

W styczniu 1966 roku, została podpisana umowa rządowa z Funduszem Specjalnym ONZ na prace badawcze w dziedzinie ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Organem rządowym do spraw realizacji badań został CUGW, a IGW instytucją prowadzącą badania. Organem wykonawczym z ramienia funduszu była Światowa Organizacja Zdrowia (WHO). Głównym obszarem prowadzenia badań w Projekcie WHO Polska-26, w okresie 1966-1970, było Zagłębie Śląsko-Dąbrowskie, a prace badawcze obejmowały trzy problemy. Pierwszym problemem, były techniczne i ekonomiczne zasady oczyszczania ścieków w oczyszczalniach grupowych oraz wykorzystanie zdolności samooczyszczania wód powierzchniowych. Drugi problem, dotyczył badań nad ustaleniem metod i środków ochrony wód przed skutkami zrzutów wód nadmiernie podgrzanych z elektrowni ciepłych oraz utylizacji tych wód. Trzeci, związany był z badaniami nad ochroną wód przed nadmiernym zasoleniem. Managerem Projektu WHO Polska-26 był Paul Eastman, pierwszym co-managerem prof. Jerzy Gańczarczyk, a dyrektorem technicznym prof. dr inż. William Wesley Eckenfelder z Uniwersytetu Texasu w Austin, którzy, zorganizowali ogólnokrajowe kursy w języku angielskim z zakresu ochrony wód przed zanieczyszczeniem.

Materiały kursów w Warszawie i Krakowie, wydane w języku angielskim, na Uniwersytecie Texasu w Austin, obejmowały cztery tomy: „Oceny i metody analityczne”, „Rzeki, zbiorniki i jeziora”, „Fizyczne, chemiczne i biologiczne procesy”, „Projektowanie i eksploatacja oczyszczalni ścieków”. Przetłumaczone na język polski, liczące ponad tysiąc stron materiały, stanowiły przez długie lata cenne kompendium w zakresie ochrony wód w kraju. Wykładowcami z USA na kursach byli: prof. W. Wesley Eckenfelder (1926-2010), prof. Earnest F. Gloyna (1921-2019), prof. Joseph F. Malina (1935-2016), prof. Davis L. Ford – wszyscy z Uniwersytetu Texasu w Austin oraz prof. Peter A. Krenzel (1930-2008) z Uniwersytetu Vanderbilta w Nashville, jak też prof. dr inż. Wilhelm von der Emde (1922-2020) z Politechniki Wiedeńskiej, którzy dzielili się wiedzą i doświadczeniem.

Politykę USA wobec Polski, a zarazem poziom współpracy naukowej, determinowała sytuacja polityczna, szczególnie pod koniec II wojny światowej, gdy zaakceptowano porozumienie jałtańskie, które pozostawiło Polskę po stronie sowieckiej. Po II wojnie światowej, Stany Zjednoczone zaproponowały wprowadzić Polakom plan Marshalla, ale na jego wprowadzenie nie wyraził zgody rząd Rosji.

Niewielka wymiana naukowa zaczęła się rozwijać dopiero w latach 60-tych. Polska była pierwszym państwem Europy Wschodniej, który w roku 1959 dołączył do Programu Fulbrighta, bowiem w tym roku wyjechał pierwszy stypendysta do Stanów Zjednoczonych. Inspiratorem, tego największego amerykańskiego

programu dwustronnej wymiany akademickiej, działającego na świecie od 1946 roku, był senator z Arkansas – James William Fulbright (1905-1995). W Polsce działa obecnie Polsko-Amerykańska Komisja Fulbrighta – fundacja o statusie pożytku publicznego.

Natomiast wcześniej, w roku 1925, powstała w Nowym Jorku Fundacja Kościuszkowska udzielająca stypendia naukowcom z Polski, której oddział istnieje obecnie także w Warszawie. W latach 1973-1974, stypendystą Fundacji Kościuszkowskiej był prof. dr hab. inż. Rafał Miłaszewski, jeden z pierwszych absolwentów WISIW Politechniki Warszawskiej, który przebywał na Uniwersytecie Północnej Karoliny w Chanel Hill, gdzie uczestniczył w Międzynarodowym Programie Projektowania w Inżynierii Sanitarnej. Przez dłuższy czas związany z Politechniką Białostocką, obecnie pracuje na Uniwersytecie Prymasa Stefana Wyszyńskiego w Warszawie.

W latach 70-tych wymiana ta nabrała przyspieszenia. Umożliwienie przez Kongres amerykański sprzedaży artykułów rolnych (w tym zboża) za złotówki, spowodowało finansowanie znacznej liczby projektów badawczych, za wcześniej udzielone kredyty, z puli PL-480. Pierwsza dwustronna umowa naukowo-techniczna między Polską a USA została podpisana w 1972 roku w Waszyngtonie, a w 1974 podpisano Porozumienie w sprawie finansowania współpracy naukowo-technicznej, czego rezultatem było Zarządzenie Ministrów Finansów oraz Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki z dnia 6 czerwca 1975 roku w sprawie finansowania polsko-amerykańskiej współpracy naukowo-technicznej z Funduszu im. Marii Skłodowskiej-Curie (FMSC). Utworzony FMSC I, a następnie FMSC II, wspierał wspólne badania naukowo-techniczne, w tym wiele prac naukowo-badawczych z ochrony wód. Prace te realizowały wyższe uczelnie i znacznej mierze zakłady naukowe instytutów resortu środowiska, w tym Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) poprzez: Zakład Gospodarki Wodnej w Warszawie, Zakład Ochrony Wód Przymorza w Gdańsku. czy Zakład Chemii i Biologii Wody w Warszawie.

Zakład Gospodarki Wodnej w Warszawie prowadził współpracę z US EPA oraz z uczelniami takimi jak: Uniwersytet Teksasu w Austin, Uniwersytet Północnej Karoliny, Uniwersytet Stanu Iowa. Współpracował z Laboratorium US EPA w Athens, Georgia nad modelowania matematycznego jakości zasobów wodnych, systemami informacji geograficznej (GIS), co pozwoliło na zakup stacji roboczej IBM i odbycie dłuższych staży naukowych w amerykańskim centrum modelowania [3]. W latach 1987-2008, kierownikiem Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie IMGW, był autor, również jeden z pierwszych absolwentów WISW Politechniki Warszawskiej, który z ramienia Instytutu Gospodarki Wodnej (IGW) wyjechał do pracy w USA. Pracował w Centrum Zasobów Wodnych, gdzie

pod kierunkiem prof. W.W. Eckenfeldera brał udział w projekcie Amerykańskiej Federalnej Agencji Ochrony Wód (FWPCA, obecnie US EPA) dotyczącym opracowania wytycznych projektowania komunalnych oczyszczalni ścieków. Praca umożliwiła mu również sfinansowanie studiów magisterskich na Wydziale Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Texasu w Austin, które ukończył w 1970 roku, uzyskując tytuł magistra nauk inżynierii środowiska (ochrona wód). W powrocie do kraju, we współpracy z prof. dr Rosemarie Russo – dyrektorem w US EPA, kierował projektami związanymi z zastosowaniem komputerowych modeli jakości wody i ochrony wód. Został członkiem Wspólnego Komitetu Polsko-Amerykańskiego Funduszu im. Marii Skłodowskiej-Curie. Z ramienia US EPA, brał udział w projekcie CCMS NATO dotyczącym eutrofizacji wód na świecie, a jako profesor wizytujący prowadził wykłady z modelowania jakości wód na Uniwersytecie Texasu w Austin. W 2015 roku, został wybrany w poczet członków amerykańskiej Akademii Wybitnych Absolwentów Architektury, Budownictwa i Inżynierii Środowiska, z ramienia tego uniwersytetu.

Zakład Ochrony Wód Przymorza w Gdańsku prowadził unikalne badania nad dynamiką występowania zanieczyszczeń w ujściowych odcinkach rzeki Wisły. W ramach FMSC II, zorganizowano w Gdańsku i w Portland sympozja na temat badania rzeki Wisły w Polsce i rzeki Willamette w Oregonie. W wyniku polsko-amerykańskiego sympozjum w 1994 roku w Portland powstała książka, w języku angielskim, opublikowana w 1997 roku przez CRC Press [2]. Organizatorami sympozjum byli: prof. dr hab. inż. Elżbieta Niemirycz (obecnie Uniwersytet Gdański) oraz prof. dr David Dunnatte (1939-1995) z Uniwersytetu Stanowego Portland, który w latach 1991-1992 był stypendystą Fulbrighta na Politechnice Gdańskiej.

Funkcję kierownika Zakładu Chemii i Biologii Wody IMGW pełnił prof. dr hab. inż. Jan Dojlido (1930-2018), wybitny hydrochemik, ekspert ONZ, pełniący w, koordynował prace badawcze tego zakładu, wykonywane wspólnie z US EPA, przykładowo badania nad biodegradacją i toksycznością związków organicznych przedostających się do wód.

Pod koniec lat 80-tych ekologia i ochrona środowiska stanowiła ważny element naukowej współpracy polsko-amerykańskiej. Przykładowo, w 1987 roku, odbył się w Mogilanach k. Krakowa, workshop Polskiej Akademii Nauk (PAN) i Narodowej Akademii Nauk Stanów Zjednoczonych (National Academy of Sciences of the United States-NAS) pn. „Badania ekologiczne i ochrona środowiska”, kontynuowany następnie w roku 1988 w Waszyngtonie. W dniu 30 maja 1962 roku, uchwalono nową ustawę Prawo wodne (Dz. U z 1962, nr 34 poz.158). W dniu 30 maja 1962 roku, uchwalono nową ustawę Prawo wodne (Dz. U z 1962, nr 34 poz. 158). Delegacja PAN, pod przewodnictwem prof. dr hab. Wacława



Grodzińskiego (1932-1988), składała się z wybitnych uczonych, z których niektórzy niestety odeszli, takich jak.: prof. dr hab. Alicja Breymeyer (1932-2015), prof. dr hab. Bogusław Molski (1932-1989), prof. dr hab. Lech Ryszkowski (1931-2006), prof. dr hab. Przemysław Trojan (1929-2015). Pozostali uczestnicy to: prof. dr hab. Krystyna Grodzińska, prof. dr hab. Anna Hillbricht-Ilkowska, prof. dr hab. Stefan Godzik, doc. dr inż. Marek Gromiec i dr Andrzej Kassenberg. Finansowanie workshopu zapewnił Fundusz Braci Rockefeller i Fundacja Forda. Rezultatem współpracy ekologów była propozycja przyszłej tematyki badawczej. Powstała też wspólna książka PAN-NAS [4], sfinansowana przez US EPA i wydana języku angielskim w 1990 roku, poświęcona niedżałowemu prof. W. Grodzińskiemu, który zmarł nagle w 1988 roku.

W 1990 roku, rozpoczął swoją działalność Polsko-Amerykański Fundusz Przedsiębiorczości. W latach 90-tych XX wieku, stypendystą International Exchange Board-Washington był prof. dr hab. inż. Janusz Tomaszek, wieloletni kierownik Katedry Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej, który przebywał w 1992 roku na prywatnym Uniwersytecie Browna w Providence, Rhode Island, a następnie jako stypendysta Fundacji Kościuszkowskiej, w latach 1993-1994, w Laboratorium Badawczym Wielkich Jezior Narodowej Administracji Oceanicznej i Atmosferycznej (GLRL NOAA). Był profesorem wizytującym na Uniwersytecie Kalifornijskim w latach 2001-2002.

W okresie 1992-1996, w Banku Światowym w Nowym Jorku, pracował w zakresie planowania wodno-gospodarczego prof. dr hab. inż. Janusz Kindler (1934-2020), wybitny specjalista z dziedziny gospodarki wodnej, dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej w latach 1999-2002, konsultant (2007-2008) projektu rozwoju zasobów wodnych Południowego Kaukazu – finansowanego przez US AID. Natomiast, absolwent WISIW Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Lech Łobocki, specjalista z meteorologii i hydrologii, pracował, w latach 1990-1996, w Amerykańskim Narodowym Centrum Meteorologii / Amerykańskim Narodowym Centrum Ochrony Środowiska (NMC/NCEP), gdzie uczestniczył w projektach: Program Ryzyka Nadmorskiego i Projekt Potężnych Sztormów NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Inny absolwent WISIW Politechniki Warszawskiej – prof. dr hab. inż. Zbigniew W. Sorbjan, specjalista z dziedziny meteorologii i hydrologii, który wykładał na kilku uniwersytetach amerykańskich, w tym na Uniwersytecie Wisconsin-Milwaukee, został laureatem prestiżowej nagrody imienia Luisa Battana Amerykańskiego Towarzystwa Meteorologicznego (ang. Luis J. Battan Author's Award, AMS) za 1997 rok.

Należy przypomnieć, że początek lat 90-tych XX wieku w Polsce, to nie tylko katastrofalny stan jakości zasobów wodnych i atmosfery a ogólnie całego

środowiska naturalnego, ale też duże zadłużenie z lat 70-tych. W kwietniu 1991 roku, Klub Paryski zdecydował o umorzeniu 50% polskiego długu i wyraził zgodę, aby dalsze 10% długu (powyżej 50%) mogło być spłacane na ekokonwersję długu (ang. Debt-for-Environment). Należy podkreślić, że już w czerwcu 1991 roku rząd USA, jako pierwszy, zdecydował o przeznaczeniu 10% długu, tj. 372 mln USD na ochronę środowiska w Polsce. W kwietniu 1992 roku Minister Finansów ustanowił Fundację EkoFundusz, której prezesem Zarządu został powołany przez Radę EkoFunduszu prof. dr hab. inż. Maciej Nowicki. Wysokość środków z ekokonwersji polskiego długu, w roku podjęcia decyzji przez poszczególne państwa, zarządzana przez EkoFundusz wyniosła 573 ml USD, przy czym procentowy udział tych państw wynosił: USA – 65%, Francja – 11,5%, Szwajcaria – 11%, Włochy – 5,6%, Norwegia – 4,7%. Szwecja – 2,2%. Na ochronę wód skierowano 40,2% środków, przy następujących priorytetach: ochrona Morza Bałtyckiego, zapewnienie wody dla największych aglomeracji miejskich, przywrócenie czystości wód na terenach cennych przyrodniczo. Po 15 latach pracy na rzecz środowiska, w tym ochrony wód, EkoFundusz zakończył swoją działalność w 2007 roku.

Również w latach 90-tych, współpraca w dziedzinie ochrony środowiska nabrała charakteru oficjalnego. W dniu 16 maja 1995 roku w Waszyngtonie podpisano Porozumienie między Ministerstwem Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa RP (MOŚZNiL), a Agencją Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (U.S. EPA) o współpracy w zakresie ochrony środowiska. Ze strony polskiej podpis złożył minister środowiska Stanisław Żelichowski, a ze strony amerykańskiej Administrator Carol M. Browner, w randze ministra. Autor miał zaszczyt uczestniczenia w delegacji polskiej i w tej ceremonii na zaproszenie Ministra Stanisława Żelichowskiego, jako Jego doradca ds. amerykańskich. Porozumienie spowodowało, że w latach 1995-1999 zrealizowano szereg działań, w wielu obszarach tematycznych ochrony środowiska, w tym między innymi w ochronie wód przed zanieczyszczeniami obszarowymi oraz w rozwoju ocen oddziaływania na środowisko.

Od 1998 roku, działał Polsko-Amerykański Komitet Sterujący ds. współpracy w dziedzinie środowiska, a autor miał zaszczyt być jego członkiem. Posiedzenia tego komitetu odbywały się w Warszawie i Waszyngtonie. We wrześniu 1999 roku, w Warszawie, podpisano Porozumienie między Ministerstwem Środowiska RP a Agencją Międzynarodowego Rozwoju USA w sprawie łagodzenia zmian klimatu. Umowa o wzajemnej współpracy naukowo-technicznej między rządem RP a rządem USA została podpisana w Departamencie Stanu w Waszyngtonie w kwietniu 2018 roku (poprzednia wygasła w 2016 roku).

Powstają nowe inicjatywy nowej współpracy naukowej i w tym miejscu warto wspomnieć o Polsko-Amerykańskiej Radzie Współpracy (USPTC), która wspiera



polskich specjalistów i ułatwia firmom z Polski zaistnienie na rynku kalifornijskim. Rada rozwinęła, pod kierunkiem prof. dr inż. Piotra Moncarza, program „500 Innowatorów” na Uniwersytecie Stanforda w Palo Alto (CA), stworzony i sfinansowany przez polskie Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W okresie 2011-2016, odbyło się siedem edycji tego programu. Rada zorganizowała cykl konferencji z serii „Poland-Silicon Valley Life Science”, w tym w 2016 roku konferencję dotyczącą czystej wody i czystej energii. Rada wspiera polskie firmy w rozszerzeniu ich działalności na obszar Doliny Krzemowej, gdzie zlokalizowany jest Uniwersytet Stanforda, utworzony w 1891 roku przez senatora Lelanda Stanforda-byłego gubernatora Kalifornii, który został sklasyfikowany na drugim miejscu w rankingu wszystkich uniwersytetów na świecie.

W grudniu 2020, nastąpiło zawarcie umowy między Rządem RP a Export-Import Bank of the US (EXIM) dotyczący współpracy bilateralnej przy finansowaniu projektów w Polsce. Podpisane porozumienie o wieloletniej współpracy bilateralnej, pomiędzy polskim Ministerstwem Klimatu i Środowiska a amerykańskim bankiem EXIM, ma wspierać projekty dotyczące transformacji klimatycznej w Polsce, w oparciu o amerykańskie technologie.

### **5.3. Podsumowanie**

Niniejszy rozdział nie stanowi informacji o związkach polsko-amerykańskich, ani o stosunkach polsko-amerykańskich. Związki polsko-amerykańskie datują się od czasu amerykańskiej wojny o niepodległość, gdy powstawały Stany Zjednoczone Ameryki, a Rzeczpospolita Polska zniknęła z mapy świata. Natomiast, po odzyskaniu przez Polskę niepodległości, w wyniku zakończenia I wojny światowej, Stany Zjednoczone uznały Rzeczpospolitą Polską.

W roku 2019 minęła setna rocznica nawiązania stosunków dyplomatycznych polsko-amerykańskich, które istnieją nieprzerwanie. Dlatego wydaje się, że należy przypomnieć również wkład Stanów Zjednoczonych w edukację w zakresie inżynierii sanitarnej i inżynierii środowiska i w badania nad ochroną środowiska, a szczególnie badania nad ochroną wód w Polsce. Podane informacje mogą stanowić wstęp do dalszych badań, bowiem materiały podane przez autora są selektywne, ale tylko do takich udało się dotrzeć. Wraz z pojawianiem się nowych informacji konieczne będzie ich rozszerzenie. Polscy pionierzy inżynierii sanitarnej, których korzenie edukacji sięgają Stanów Zjednoczonych, wykształcili w kraju rzeszę inżynierów i specjalistów sanitarnych i środowiska i przyczynili się do wykształcenia wiele pokoleń swoich następców, z których wielu odniosło uznanie naukowe i zawodowe. Dzięki nim, między innymi, inżynieria sanitarna i inżynieria środowiska powstała na krajowych uczelniach wyższych.

## **Bibliografia**

1. Kulig A., Wojdyła K.: *Od Inżynierii Wodnej przez Technikę Sanitarną do Inżynierii Środowiska w 100-letniej Tradycji Politechniki Warszawskiej*. Wydawcy Wydział IBHIŚ PW, Oficyna Wydawnicza ASPRA. Warszawa 2016.
2. Laenen A., D., A. Dunnette (eds): *River Quality. Dynamic and Restoration*. CRC Press inc., Lewis Publisher. Boca Raton & New York 1997.
3. Gromiec M.: *Badania nad gospodarowaniem wodą i ochroną wód Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej na progu XXI wieku*. Monografia Nr 170 Komitetu Inżynierii Środowiska. Wyd. PAN. Warszawa 2020.
4. Grodzieński W., E.B. Bowling, A.I. Breymeyer (eds): *Ecological Risks. Perspectives from Poland and the United States*. Polish Academy of Science, National Academy of Science of the United States of America. National Academy Press. Washington, D.C., 1970.

## 6. Problemy krajowej ochrony wód

### 6.1. Problemy podstawowe ochrony zasobów wodnych

**Ilość zasobów wodnych.** Naturalny obieg wody w przyrodzie narażony jest na różne zmiany spowodowane działalnością człowieka, co następuje w skali globalnej i w małych obiegach lokalnych. Opady stanowią źródło wód śródlądowych, podzielonych ogólnie na wody powierzchniowe i wody podziemne. Znaczna część wody opadów, opadająca na lądy, odparowuje, a reszta odpływa do oceanów i mórz, bezpośrednio lub pośrednio w postaci spływu powierzchniowego lub spływu wód gruntowych.

Wielość rocznego odpływu wód rzekami na danym obszarze uznawana jest jako odnawialne zasoby wody, przy czym stosunek odnawialnych zasobów wodnych do liczby mieszkańców danego dorzecza czy państwa przyjmowana jest jako wskaźnik zasobności w wodę. Ponieważ wskaźnik ten zależy od warunków klimatycznych i gęstości zaludnienia, to określany jest on dla średnich warunków (wartości średnie z wielolecia) dla roku mokrego i suchego. Przykładowo, dla wartości średnich z wielolecia (1950-1985), wartości jednostkowych zasobów wodnych Polski na mieszkańca (M) wyniosła:

- dla roku przeciętnego –  $1420 \text{ m}^3 / \text{M rok}$ ,
- dla roku suchego –  $830 \text{ m}^3 / \text{M rok}$ .

Dlatego wśród 31 państw europejskich w 1990 roku, Polska z wartością wskaźnika jednostkowych odnawialnych zasobów wody słodkiej wynoszącą  $1467 \text{ m}^3 / \text{M rok}$ , znalazła się tylko przed Maltą na 30 miejscu. Niewątpliwie należymy do państw ubogich w wodę, co pogłębia nierównomierny spływ wód w czasie i przestrzeni, powodując niedobory wody w niektórych okresach i regionach Polski. Zmiany klimatyczne i przedłużające się okresy suszy zaostrzają jeszcze powyższą sytuację, przybliżając Polskę do sytuacji państw z niedostatkami wody. Na sytuację z ilością wody i jej dostępnością nakładają się problemy dotyczące jakości wody.

**Jakość zasobów wodnych i zanieczyszczenie wód.** Jakość wody określana się wieloma parametrami, które charakteryzują stan biocenozy wody odbiornika oraz określają: właściwości fizyczne wody, zawartość substancji, mikroorganizmów i organizmów wyższych w wodzie. Ustalenie kompleksowego stanu biocenozy danego odbiornika, obejmujące analizę wyników badań zbiorowisk organizmów roślinnych i zwierzęcych wody, związane było z ustaleniem *stref saprobowości*. Rozróżniane strefy to: strefa polisaprobowa – wody silnie zanieczyszczone; strefa alfa-mezosaprobowa – wody średnio zanieczyszczone; strefa beta-mezosaprobowa – wody czyste.

Ocena stanu jakości wód dokonywana jest o wartości wskaźników zanieczyszczeń wód, których wartości zmieniały się w czasie wraz ze zmieniającymi się przepisami prawnymi, przy czym substancje zanieczyszczające wody pochodzą ze źródeł naturalnych i antropogenicznych, szczególnie ścieków i odpadów. Ogólnie wyróżnia się przy tym zanieczyszczenia punktowe i obszarowe. Do zanieczyszczeń punktowych można głównie zaliczyć: ścieki ze skanalizowanych miast i wsi, wprowadzane do wód lub gruntu w ściśle określonych miejscach, przy czym należą do nich również ścieki ze skanalizowanych zakładów przemysłowych, ścieki ze składowisk odpadów, wody z systemów melioracyjnych odprowadzanych do odbiorników. Zanieczyszczenia obszarowe spływają z obszaru zlewni jako spływy powierzchniowe, przedostają się z wodą do gruntu i warstw podziemnych lub bezpośrednio z opadów atmosferycznych – deszczu lub śniegu.

Historia zanieczyszczenia zasobów wodnych i przyczyny stanu wód w Polsce, wymaga wnikliwego opracowania, szczególnie ze względu jej znaczenia dla zrównoważonego rozwoju kraju. Interesującą analizę historyczną dla Polski, w zakresie zanieczyszczenia wód w latach 1945-1970, przedstawił historyk prof. dr hab. Dariusz Jarosz z Instytutu Historii im. Tadeusza Manteuffla od PAN w Warszawie, wskazując na dłużejletnie zaniedbania w zakresie ochrony wód i związany z tym zły stan jakości zasobów wodnych [1].

Na zły stan ówczesnej jakości wód wskazywało od dawna [2-4], głównie w czasopiśmie specjalistycznych, takich jak: *Gaz, Woda i Technika Sanitarna – GWiTS* (założone 100 lat temu, w 1921 roku) i *Gospodarka Wodna – GW* (założone 85 lat temu, w 1935 roku), jak też w późniejszych atlasach zanieczyszczeniach rzek, wydawanych przez Instytut Gospodarki Wodnej, Instytut Kształtowania Środowiska i Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Przykładowo, w piątym atlasie czystości rzek Instytutu Kształtowania Środowiska Oddział we Wrocławiu, wykonanym na zlecenie Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w latach 1978-1983, głównie z lat: 1978, 1980, 1983 [5]. Podstawę klasyfikacji jakości wód stanowiło wówczas Rozporządzenie RM z dnia 29 listopada 1975 roku. Ogółem, na całkowitą długość objętych klasyfikacją (ponad 16 tys. km) przypadało: 6,8% (klasa I), 28,2% (klasa II) 30,1% (klasa III), 34,9% (non), przy czym przez klasyfikację rozumie się porównanie miarodajnego stężenia zanieczyszczenia z normatywnym zanieczyszczeniem przyporządkowanym poszczególnym klasom jakości. We wnioskach atlasu stwierdzono, że badanym okresie nastąpiło dalsze pogorszenie jakości wód rzek w stosunku do okresu 1974-1977, polegające na zmniejszeniu zasięgu wód klasy I i II oraz powiększeniu zasięgu wód klasy III i nie odpowiadających normom (non). Należy podkreślić wkład prof. H. Mańczaka w ówczesne podstawy oceny i klasyfikacji jakości wód płynących kraju za pomocą profilu hydrochemicznego rzek [6].

Następna klasyfikacja, została wprowadzona na podstawie Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych z dnia 5 listopada 1991 roku (Dz.U. 116, poz 503), określające wskaźniki zanieczyszczeń śródlądowych wód powierzchniowych, ale nie podające sposobu prowadzenia badań i obowiązującej metody oceny jakości wód płynących. Na przestrzeni lat 1970-1980 nastąpił wzrost zanieczyszczeń organicznych i zasolenia Wisły i Odry – rzek stanowiących główne odbiorniki ścieków przemysłowych i komunalnych; w roku 1990 nastąpiło zmniejszenie się zanieczyszczenia wód substancjami organicznymi i nieznacznie wzrosło zasolenie, a w okresie 1990-2000 zniknęły wody zanieczyszczone substancjami organicznymi i zasięg wód klasy I przekroczył długość 50% [7], [8].

Jak wskazano powyżej, ze stanem jakościowym zasobów wodnych łączą się warunki prawne odprowadzania zanieczyszczeń do wód. W Polsce, okresie 1922-1991, wymagania dla warunków odprowadzania ścieków podlegały częstym zmianom, wraz ze zmianami ustawy Prawo wodne. Do przepisów prawnych w tym zakresie można zaliczyć:

- Rozporządzenie Prezydenta z dnia 16 marca 1928 roku o usuwaniu nieczystości i wód opadowych (Dz.U. 1928 nr 32, poz. 311),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Komunalnej z dnia 2 września 1950 roku w sprawie określenia warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wpuszczane do zbiorników wód powierzchniowych i do ziemi (Dz.U. nr 41, poz. 370 i 371),
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 lutego 1962 roku w sprawie norm dopuszczalnych zanieczyszczeń wody oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki odprowadzane do wód i do ziemi (Dz.U. nr 17, poz. 7-9),
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 czerwca 1970 roku w sprawie norm dopuszczalnych zanieczyszczeń wód i warunków wprowadzania ścieków do wód i do ziemi (Dz.U. nr 17, poz. 144),
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 listopada 1975 roku w sprawie klasyfikacji wód i warunków jakim powinny odpowiadać ścieki kar pieniężnych za naruszanie tych warunków (Dz.U. nr 41, poz. 214),
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 1987 roku w sprawie klasyfikacji wód i warunków jakim powinny odpowiadać ścieki oraz kar za naruszanie tych warunków (Dz.U. nr 42, poz. 248),
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód i warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz.U. nr 116, poz. 503).

## 6.2. Problem bezpieczeństwa zdrowotnego wody

Z problemem zanieczyszczenia zasobów wodnych, ściśle łączy się bezpieczeństwo zdrowotne wody związane z przydatnością ujmowanych wód do celów kąpielowych, a szczególnie wodociągowych dla zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia. Problem bezpieczeństwa zdrowotnego wody dotyczy wszystkich wodociągów, w szczególności małych przedsiębiorstw produkujących wodę. W Polsce, nadzór nad jakością wody przeznaczonej do spożycia, sprawuje Państwowa Inspekcja Sanitarna (PIS). Zgodnie z jej raportem z roku 2019 [9], woda wykorzystywana do zbiorowego zaopatrzenia w 72% pochodziła z ujęć podziemnych i w 28% z ujęć powierzchniowych. Liczba małych wodociągów (poniżej 1000 m<sup>3</sup>/d) stanowiła 92%, obsługujących około 12 mln ludzi (produkcja wody – 33%), natomiast pozostałe większe wodociągi obsługiwały ponad 24 mln ludzi (produkcja wody – 67%).

W 2018 roku, około 99% ludności miało dostęp do wody pochodzącej z zaopatrzenia zbiorowego, zgodnej z wymaganiami rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia (Dz.U. z 2017, poz. 2294), które weszło w życie w dniu 11 stycznia 2018 roku (z pewnymi wyjątkami), a tylko 1% ludności do wody – warunkowo dopuszczonej do spożycia przez ludzi. W latach 2000-2018, widoczna była stała malejąca tendencja do wykorzystania wody z ujęć powierzchniowych. Ujęcia takie wykorzystywane są nadal przez duże aglomeracje i przemysł. Jednak w 2018 roku, wody powierzchniowe wykorzystywano głównie do celów przemysłowych, a ich pobór pokrywał 82% potrzeb przemysłu. Wody podziemne wykorzystywane były przede wszystkim do zaopatrzenia ludności w wodę.

Na jakość wody do spożycia wywiera wpływ szereg czynników, szczególnie jakość ujmowanej wody, ale również sposób uzdatniania wody czy sposób jej dystrybucji, w tym stan techniczny sieci wodociągowych. Przekroczenia wartości parametrów jakości wody są spowodowane wieloma czynnikami. Według Państwowej Inspekcji Środowiska, mikrobiologiczne pogarszanie się jakości wody było związane z: awariami urządzeń, przeciekami sieci wodociągowej, brakiem wymaganego płukaniem, brakiem odpowiedniej dezynfekcji, złym stanem instalacji wewnętrznych, małymi rozbiorami wody. Przekroczenia parametrów jakości wody do spożycia ze zbiorowego zaopatrzenia stwierdzano najczęściej w wodociągach o małej dobowej ilości wody, ale jak wskazano powyżej zaopatrujących duży odsetek ludzi. Podanymi przyczynami jakości wody nie spełniającej warunków było: wadliwa technologia uzdatnia (szczególnie na obszarach wiejskich), niewłaściwa eksploatacja, brak stref ochrony ujęć, zapóźnienia w rozwoju sieci kanalizacyjnych i niewłaściwy nadzór nad odprowadzaniem ścieków.

Dlatego, niezbędne są działania, takie jak: pełne zwodociągowanie i skanalizowanie gmin, polepszenia stanu istniejącej infrastruktury wodociągowej, likwidacja zbiorników bezodpływowych. Zbiorowe zaopatrzenie w wodę w Polsce charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem pod względem ilości dostarczanej wody. Centralizacja małych wodociągów i tworzenie większych sieci wodociągowych może wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa zdrowotnego wody. Należy dodać, że Komisja Europejska planuje zaostreżenie wymogów jakości wody przeznaczonej do spożycia, co będzie związane z zastosowaniem nowych technologii uzdatniania wody i prawidłowej ich eksploatacji. W 2020 roku, Komisja Europejska i Parlament Europejski osiągnęły porozumienie dotyczące nowej dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, zmieniającej stare przepisy.

### **6.3. Problem zanieczyszczenia wód w kraju**

Aktualne krajowe podstawy prawne ochrony wód opierają się na Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW) z 2000 roku, w której określono ramy działalności w dziedzinie polityki wodnej, które spowodowały ustanowienie ochrony wód przed zanieczyszczeniami, pochodzącymi z gospodarki komunalnej, przemysłu i rolnictwa, w dorzeczach i zlewniach we Wspólnocie Europejskiej. Wcześniej, wprowadzono we Wspólnocie Europejskiej wiele szczegółowych dyrektyw dotyczących ochrony wód wodnych, w tym między innymi dyrektywę dotyczącą oczyszczania ścieków komunalnych. W roku 2008, ustanowiono Ramową Dyrektywę w Sprawie Strategii Morskiej (RDM).

W Polsce, stan jakości krajowych wód powierzchniowych, przedstawiany w wynikach państwowego monitoringu środowiska Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, jest nadal zły pod względem stanu ekologicznego/potencjału ekologicznego [10]. Sprawcami zanieczyszczenia wód w Polsce są głównie: gospodarka komunalna, rolnictwo i przemysł. Według GUS [11]. W roku 2018, jeżeli chodzi o przemysł, to najczęściej ścieków przemysłowych powstawało w przetwórstwie przemysłowym (49%) oraz w działalności górniczej i wydobywczej (34%). Systemy zbiorczego odprowadzania ścieków obsługiwały 71% ludności kraju, w tym 90% ludności miast i 41% ludności wsi. W latach 2000-2018, ilość ścieków komunalnych i przemysłowych zmalała o około 12%, natomiast ilość ścieków nieczyszczonych zmalała o 65%, przy dwukrotnym zwiększeniu ilości ścieków oczyszczanych w urządzeniach o podwyższonym usuwaniu substancji biogenych. W skali kraju, nadal występowała dysproporcja pomiędzy długością sieci kanalizacyjnej a długością sieci wodociągowej. O ile długość sieci kanalizacyjnej wynosiła 161 tys. km, to długość sieci wodociągowej rozdzielczej – 308 tys. km. Z raportu GUS – 2019, wynika również, że w latach



2000-2018 nastąpił 62% wzrost ilości masy osadów ściekowych z komunalnych oczyszczalni ścieków. Natomiast ilość masy komunalnych osadów ściekowych stanowiła w roku 2018 około 56% całkowitej masy osadów ściekowych wytworzonych w tym roku, bowiem masa ilości przemysłowych osadów ściekowych stanowiła 44%, a ilość osadów ściekowych przemysłowych zmniejszyła się w stosunku do 2000 roku o 65%, głównie z uwagi na zmniejszenie się ilości ścieków przemysłowych. Warto zauważyć, że w latach 2000-2018 nastąpił 6-krotny wzrost utylizacji termicznej osadów pochodzących z komunalnych oczyszczalni ścieków, w tym w roku 2018 ponad 19% (111,5 tys. ton s.m.) osadów powstałych z komunalnych oczyszczalni ścieków w tym roku (ok.583 tys. ton s.m.). Należy jednak zwrócić uwagę, że podawane przez GUS obliczeniowe ilości osadów ściekowych, jako tzw. sucha masa (s.m.) są ilościami przybliżonymi, ponieważ zasadniczą część masy osadów stanowi woda (powyżej 90%). Wzrost ilości komunalnych osadów ściekowych powoduje, że jest to problem ważny społecznie, ekologicznie i technicznie, który przy złych rozwiązaniach może zagrażać bezpieczeństwu sanitarnemu kraju. W Polsce, brak jest nowoczesnego prawodawstwa przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych, a istniejące oparte jest głównie na prawodawstwie Wspólnoty liczącym ponad 30 lat. Pewnym wzorem mogą być rozwiązania prawne istniejące od dwóch lat w Niemczech. Unijna koncepcja GOZ stwarza nowe szanse dla gospodarki wodno-ściekowej, ale również dla gospodarki osadowej/odpadowej. W grudniu 2014 roku, zespół ekspercki opracował materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi [12] dla resortu środowiska. W listopadzie 2018 roku, resort środowiska opracował strategię postępowania z komunalnymi osadami [13], jednak nie spełniła ona pokładanych w niej nadziei.

W efektywnej ochronie wód szczególnie ważna jest jednak prawidłowa ocena stanu wód. RDW wymaga, aby do wykonania przeglądu stanu wód w zlewniach monitorować wody powierzchniowe w zakresie stanów ekologicznych i chemicznych oraz wody podziemne w zakresie stanu ilościowego i stanu chemicznego. Wprowadzane uprzednio w kraju zmiany metodyki nie zapewniały ciągłości historycznej pomiarów. Jeszcze do roku 2018, krajowy monitoring wód w zasadzie prowadzony był w układach administracyjnych kraju, a nie w zlewniach rzek, co wymaga RDW.

Monitoring wód oddzielony od monitoringu presji i ich analiz, nie może spełnić w pełni swojej roli i może utrudnić pełną ocenę stanu wód. Aby zapewnić właściwą kontrolę nad odprowadzanymi zanieczyszczeniami do odbiorników konieczne jest prowadzenie monitoringu zrzucanych ścieków do wód, a nie monitoringu tylko samych wód,. Wyniki monitoringu wód i ścieków powinny być wykorzystane do opracowania planów gospodarowania wodami oraz koniecznych programów,



a szczególnie do sprawdzania skuteczności podjętych działań. Dlatego, narzędzia takie jak: modelowanie matematyczne i systemy informacyjne, a nawet obrazy satelitarne, powinny być wykorzystywane przy opracowywaniu planów, które stanowią integralną część podejmowania decyzji związanych z efektywną ochroną wód.

#### **6.4. Działania w zakresie ochrony wód**

W Polsce, obecnie prowadzi się szereg programów i działań związanych z ochroną zasobów wodnych, takich jak:

- Program azotanowy – stanowiący ograniczenie presji z rolnictwa, działania dla ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem -poprzez ustanawianie stref ochronnych ujęć wody oraz obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych,
- Program dla wód morskich – Krajowy Program Ochrony Wód Morskich (KPOWM),
- Krajowy Program Ściekowy Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) – wdrażający postanowienia dyrektywy ściekowej.

Najważniejszym i największym programem związanym z ochroną wód przed zrzutami ścieków komunalnych i wybranych ścieków przemysłowych (głównie przemysł spożywczy) jest KPOŚK, realizowany jako zobowiązanie traktatowe. W roku 2015 minął termin zrealizowania programu, ale powinien być dalej realizowany w dłuższym okresie, w celu nadrobienia dużych zaległości narosłych w poprzednim systemie gospodarczym. Należy podkreślić, że rozwój systemów wodno-ściekowych, związany z rozwojem cywilizacyjnym kraju, wymaga ciągłego rozwoju systemów wodociągowo-kanalizacyjnych.

Rozwiązywanie problemów związanych z ochroną zasobów wodnych staje się coraz bardziej skomplikowane, nie tylko w warunkach występujących okresów powodzi czy susz, ale też w normalnych sytuacjach eksploatacji systemów wodno-ściekowych. Szczególnie trudne warunki występują w przypadkach awarii systemów wodno-ściekowych. W ostatnim okresie, nastąpiły w kraju głośnie przypadki takich awarii. Mniejszy przypadek, to awaria w przepompowni ścieków w Gdańsku, w maju 2018 roku, który spowodował konieczność awaryjnego zrzutu ścieków między innymi do rzeki Motławy. Większe przypadki, to awaria kolektorów przesyłowych w tunelu, którego część znajduje się pod dnem rzeki Wisły, w sierpniu 2019 roku i ponowna w sierpniu 2020 roku, które wymusiły sytuacje spustów ścieków nie oczyszczonych do rzeki. Zdarzają się również uszkodzenia sieci wodociągowych, przykładowo w listopadzie 2019 roku w Chorzowie. Dlatego, zabezpieczenie przed sytuacjami awaryjnymi, wymaga między innymi: przeprowadzenia analizy stanu technicznego systemów gospodarki wodno-ściekowej

i oceny ryzyka ich funkcjonowania oraz być może wprowadzenia nowych przepisów prawnych. Zmiany klimatu, powodują między innymi globalne zwiększenie występowania intensywnych powodzi i susz, stanowiących poważne zagrożenia. W okresach suszy pojawiają się niedobory wodne, które są dokuczliwe dla ludności, szkodliwe dla całej gospodarki, szczególnie rolnictwa i przemysłu.

W latach 2011-2013, Komitet Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą przy Prezydium PAN opracował specjalny raport, zawierający identyfikację zagrożeń, biorąc pod uwagę stan gospodarki wodnej w kraju i projekcje na przyszłość [14]. W raporcie tym przedstawiono zagrożenia związane z wodą, w tym: zasoby wodne a ich wykorzystanie, zagrożenia związane z nadmiarem i niedoborem wody, jak też zagrożenia związane z jakością wody, które związane są z wpływami antropogenicznymi [15].

Natomiast, Komitet Inżynierii Środowiska PAN podjął działania zdążające do przedstawienia stanu, przyczyn i skutków zanieczyszczenia wód w Polsce, co skutkowało opracowaniem w 2019 roku raportu dotyczącego zanieczyszczeń wód w kraju [16]. Uwzględniono w nim tylko wybrane zagadnienia ochrony wód, związane głównie z zaopatrzeniem ludności w bezpieczną i zdrową wodę do picia, w związku z występowaniem okresów susz i niedoborów wody, jak też możliwością pojawiania się nowych form zanieczyszczeń. Sformułowano koncepcję programu badawczo-rozwojowego, którego celem winno być przede wszystkim opracowanie metod mających na celu poprawę jakości wody w Polsce, a szczególnie eliminacji nowych zagrożeń toksycznych i bakteriologicznych. Wskazano też na celowość opracowania następnego raportu związanego z gospodarką wodno-ściekową i osadową. Dlatego, na przełomie 2019-2020, opracowany został drugi raport Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, wydany pod koniec 2020 roku [17], który związany był głównie z oczyszczaniem ścieków oraz zagospodarowaniem osadów ściekowych, z uwzględnieniem powstałych nowych koncepcji gospodarce ściekowo-osadowej. Z obu tych raportów wynika konieczność przeznaczania środków finansowych, krajowych i unijnych, na inwestycje z zakresu zaopatrzenia w wodę, na sieci wodociągowe i kanalizacyjne, oczyszczanie ścieków i zagospodarowanie osadów ściekowych, tym bardziej, że sytuacja związana ze zmianami klimatycznymi i możliwymi poważnymi niedoborów wody może się zaostrzać.

Dlatego, niezbędna jest dalsza realizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), uzupełnionego o Krajowy Program Zagospodarowania Osadów Ściekowych (KPOZOŚ), realizowanego jako podprogram KPOŚK, lub jako program samodzielny. KPOZOŚ powinien uwzględniać zagospodarowanie osadów ściekowych, w tym odzysk substancji biogennej, energii i wody, zgodnie z gospodarką cyrkulacyjną (GOZ). W dodatku do działalności inwestycyjnej, niezbędne jest ustanowienie programów badawczo-rozwojowych,

w których pierwszym celem byłoby opracowywanie / weryfikacja innowacyjnych metod poprawiających jakości wody w Polsce, z uwagi na zagrożenie zdrowia ludzi, w szczególności młodego pokolenia. Drugim celem, byłoby opracowanie/ weryfikacja skutecznych metod zagospodarowania ciągle rosnących ilości osadów ściekowych i o zmieniającej się jakości. W tym, należy również określić rolę substancji toksycznych i zanieczyszczeń bakteriologicznych występujących w ściekach oraz osadach ściekowych, stanowiących zagrożenie dla ludzi i przyczyniających się do zanieczyszczenia środowiska. Podjęcie powyższych badań jest jednym z ważniejszych przedsięwzięć, aby wprowadzana obecnie gospodarka cyrkulacyjna w Polsce nie osiągnęła charakteru toksycznego.

## 6.5. Podsumowanie

W Polsce, systemy kanalizacyjne w miastach, stanowiące podstawę ochrony wód, zaczęto realizować w zasadzie dopiero w XIX wieku. Na wsiach, sytuacja była jednak zdecydowanie gorsza, skoro w latach 20-tych XX wieku, lekarz medycyny, gen. dyw. oraz późniejszy premier Rządu II RP Sławoj Felicjan Składkowski (1885-1962), wydawał okólniki nakazujące budowę wolno stojących toalet (nazwanych „sławojkami”) w gospodarstwach wiejskich, dla poprawienia poziomu higieny i zdrowotności ludności. Wśród wielu problemów związanych z krajową ochroną wód, do najważniejszych należy zaliczyć stosunkowo niewielkie zasoby wodne i zły stan jakości wód. Ogólnie można stwierdzić, że do złego stanu jakości krajowych zasobów wodnych przyczyniał nieskuteczny system prawny, związany niską skutecznością praktycznego rozwiązywania problemów z odprowadzaniem do wód zanieczyszczeń punktowych i obszarowych, przestarzałymi technologiami, złym stanem technicznym oczyszczalni ścieków i ich małą przepustowością, niskim stopniem skanalizowania i niskimi nakładami na branżę wodociągowo-kanalizacyjną, małą skutecznością systemu kar. Problemy pogłębiały się, wraz z rosnącą ilością awarii i klęsk ekologicznych. Próbowano temu wszystkiemu okresowo zaradzić, co nie przyniosło to wymaganych efektów. Polska, po przystąpieniu do Wspólnoty Europejskiej, realizując unijną politykę wodną i mając nowe możliwości, z sukcesem nadrabia wieloletnie zapóźnienia w branży wodociągowo-kanalizacyjnej, przy znacznym zaangażowaniu tej branży.

## Bibliografia

1. Jarosz D.: Zanieczyszczenie wód i powietrza w Polsce w latach 1945 – 1970 jako problem władzy i społeczeństwa. *Polska 1944/45 – 1980*, 15, 37-78, 2017.
2. Rudziński B.: Zagadnienie dobrej wody, jako warunek dobrego zdrowia. *Gas, Woda i Technika Sanitarna* 1, 1946.

3. Rzeki czy ścieki? *GWITS* 11, 405-406, 1956.
4. Goliszewski J.: Stan zanieczyszczenia wód powierzchniowych w Polsce. *Gospodarka Wodna* 10, 430-435, 1961.
5. Atlas zanieczyszczenia rzek w Polsce – 1983. Instytut Ochrony Środowiska Oddział we Wrocławiu. Wrocław 1986.
6. Mańczak H.: Techniczne podstawy ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Politechnika Wrocławska. Wrocław 1972.
7. Atlas zanieczyszczenia rzek w Polsce – Lata 1990-1992. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Wyd. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 1993.
8. Trendy zmian jakości rzek i jezior. Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca. Wyd. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Biblioteka Ochrony Jakości Wód PK IWA, t. 20. Warszawa 2005.
9. Państwowa Inspekcja Sanitarna: Stan Sanitarny Kraju w roku 2018. Warszawa 2019.
10. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Stan Środowiska w Polsce, Raport 2018. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2019.
11. Główny Urząd Statystyczny: Ochrona środowiska 2019. Warszawa 2019.
12. Bień J. i inni: Ekspertyza, która stanowić będzie materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2014-2020. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2014.
13. Ministerstwo Środowiska: Strategia postępowania z komunalnymi osadami na lata 2019-2022. Warszawa 2018.
14. Kuncewicz Z.W. (red.): Artykuły wchodzące w skład raportu opracowanego przez Komitet Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Woda przy Prezydium PAN. *NAUKA*, Wyd. PAN, 1, 59-195, 2014.
15. Gromiec M., Sadurski A., Zalewski M., Rowiński P.: Zagrożenia związane z jakością wody, *NAUKA*, Wyd. PAN, 1, 99-122, 2014.
16. Gromiec M., Pawłowski L. (red.): Zanieczyszczenia wód w Polsce: Stan, Przyczyny, Skutki. Raport. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Nr 164, Wyd. Polskiej Akademii Nauk, Lublin 2019.
17. Bień J., Gromiec M., Pawłowski L. (red.): Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Nr 166. Wyd. polskiej Akademii Nauk, Lublin 2020.

## **7. Programy badawcze gospodarki wodnej i ochrony wód pod koniec XX wieku**

Pewną rolę w gospodarowaniu wodą i ochronie wód przed zanieczyszczeniem w kraju odegrały programy/projekty badawczo-rozwojowe. W rozdziale przedstawiono wybrane dwa duże programy oraz duży projekt KBN, z przykładami zrealizowanego zadania związanego z ochroną wód przed zanieczyszczeniem [1-3], a mianowicie:

- Program „Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych” (PR-7), głównie w aspekcie ochrony wód, kierownicy programu: prof. dr hab. inż. Zdzisław Kaczmarek (etap I), doc. dr inż. Bohdan Godlewski (etap II).
- Program Badawczo-Rozwojowy „Gospodarka wodna” (CPBR 11.10), głównie w aspekcie ochrony wód: Grupa Tematyczna 03, kierownik programu: prof. dr inż. Jan Zieliński.
- Projekt Badawczy Zamawiany w KBN „Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem z punktu widzenia ochrony zdrowia i przyrody oraz potrzeb gospodarczych” (PBZ 28-02), kierownik Zespołu Realizującego projekt: doc. dr inż. Marek Gromiec.

### **7.1. Program Badawczo-Rozwojowy PR-7**

Realizacja programu obejmowała dwa etapy: pierwszy w okresie 1976-1980, a drugi w okresie 1981-1985. Celem programu była próba stworzenia systemów wodno-gospodarczych w praktyce oraz stworzenie podstaw dla upowszechniania gospodarki wodnej systemowej na terenie całego kraju. Sformułowanie celu determinowało wybór jego podstawowych kierunków, przy założeniu, że na terenie kraju występują dwa zasadnicze rodzaje systemów. Pierwsze z nich, to aglomeracje miejsko-przemysłowe z dużymi potrzebami wodnymi ludności i przemysłu oraz wytwarzające duże ilości ścieków, Drugie, to regiony rolnicze z przewidywaną intensyfikacją produkcji rolnej potrzebującej nawodnień. Jako przykładowe, wzorcowe systemy wybrano obszar śląski oraz obszar Górnej Noteci.

Podstawowe kierunki (cele częściowe) programu były następujące:

- Opracowanie podstaw metodycznych gospodarowania wodą w systemach (kierunek 01), kierownik: doc. dr inż. Wiesław Depeczyński.
- Unowocześnianie i racjonalizacja systemów informacyjnych i pomiarowo-kontrolnych w gospodarowaniu wodą, (kierunek 02) kierownik: doc. dr inż. Bohdan Godlewski.
- Opracowanie i wdrożenie wybranych technologii oraz urządzeń służących do ochrony zasobów wodnych i uzdatniania wody (kierunek 03), kierownik: doc. dr inż. Paweł Błaszczak.

- Opracowanie i wdrożenie nowoczesnej techniki budownictwa wodno-Inżynierskiego (kierunek 04), kierownik: mgr inż. Wiesław Ciesielski,
- Opracowanie i wdrożenie pilotowego systemu wodno-gospodarczego na obszarze aglomeracji miejsko-przemysłowej (kierunek 05), kierownik: dr inż. Wojciech Szczepański.
- Opracowanie i wdrożenie pilotowego systemu wodno-gospodarczego na obszarze rolniczym w zlewni Górnej Noteci (kierunek 06), kierownik: prof. dr hab. Czesław Somorowski,
- Podstawy kompleksowego zagospodarowania zasobów wonnych Odry (kierunek 07), kierownik: prof. dr hab. Józef Kroszel.

W zakresie ochrony wód w kierunku 03 prowadzono prace nad:

- opracowaniem i uruchomieniem seryjnej produkcji urządzeń do oczyszczania ścieków oraz uzdatniania wody,
- opracowanie zasad efektywnego gospodarowania wodą w wybranych rodzajach przemysłu,
- opracowywanie wysokoefektywnych technologii oczyszczania ścieków, w tym odzysku wody ze ścieków i odsalania wód dołowych.

Kierunek 03, w drugim etapie programu, przybrał nazwę: „Rozwój i racjonalizacja gospodarki wodno-ściekowej w jednostkach osadniczych i przemyśle”, w ramach którego realizowano prace obejmujące:

- rozwój i racjonalizacja gospodarki wodno-ściekowej,
- ograniczenie zapotrzebowania na wodę i ładunków zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych,
- utylizacja zasolonych wód dołowych z kopalni węgla kamiennego.

Jednostką koordynacyjną całego programu był Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), a jednostkami koordynacyjnymi poszczególnych kierunków: Instytut Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej (kierunek – 01), IMGW (kierunek – 02), Instytut Kształtowania Środowiska (kierunek – 03), Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Budownictwa Hydrotechnicznego „EnergoPol” (kierunek – 04), Urząd Wojewódzki Katowicach (kierunek – 05), Instytut Melioracji i Użytków Zielonych (kierunek – 06).

W drugim okresie (1981-1985) doszedł nowy kierunek 07, który koordynował Instytut Śląski w Opolu, w ramach którego wykonywano prace, takie jak:

- podstawy i kierunki zagospodarowania zasobów wodnych i modernizacji infrastruktury Odry,
- perspektywiczny program poprawy czystości wód Odry i jej dorzecza,
- rozwój i racjonalizacja przewozów na Odrze,
- kierunki i metody optymalizacji zarządzania i administrowania Odrą i zagospodarowania jej zasobów.

Realizację prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych, wykonanych przez jednostki podległe różnym resortom, nadzorował Minister Rolnictwa, który prowadził koordynację zadań inwestycyjnych wynikających z programu, jak też Minister Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska, w porozumieniu z zainteresowanymi resortami i wojewodami. Natomiast kontrolę osiągnięcia założonych celów programu i wykorzystanie środków sprawował Minister Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki. Ogólna liczba pracowników naukowo-technicznych, zatrudnionych przy realizacji programu wynosiła około tysiąc osób, w tym około stu samodzielnych pracowników nauki. Nakłady naukowe na prace badawcze i rozwojowe wynosiły powyżej 2 mld złotych, a nakłady inwestycyjne powyżej 20 mld złotych. Przy kierownictwie programu, działało Biuro Programu, powołane dla prowadzenia koordynacji merytorycznej wszystkich kierunków programu w czasie jego realizacji. Program wodny nie posiadał jednak skomputeryzowanego systemu do sterowania jego realizacją, umożliwiając tym samym zastosowanie metod planowania sieciowego lub odpowiednich systemów informatycznych.

## 7.2. Program Badawczo-Rozwojowy CPBR 11.10

Podobnie jak w stosunku do poprzedniego programu, poniżej przedstawione zostały prace związane z ochroną wód przed zanieczyszczeniem, które realizowane były w ramach tzw. Grupy Tematycznej 03 pod nazwą „*Wysokoefektywne technologie i urządzenia do uzdatniania wody i oczyszczania ścieków*”, której kierownikiem był: doc. dr inż. Marek Gromiec, Program Grupy Tematycznej 03 obejmował dwa etapy, przy czym w etapie pierwszym (1986-1987) realizowanych było 28 konkretnych celów:

- unifikacja projektowa oczyszczalni ścieków,
- usuwanie substancji biogenych metodą biologiczną,
- zablokowana oczyszczalnia ścieków typu Hektoblok,
- optymalizacja parametrów eliminacji biogenów metodą osadu czynnego w procesie jednoosadowym,
- wypełnienia z tworzyw sztucznych do złóż biologicznych na bazie podstawowych surowców krajowych,
- technologia usuwania azotu ze ścieków przemysłu azotowego metodą nityfikacji i denityfikacji,
- technologia usuwania nitrozwiązków ze ścieków,
- małe zablokowane oczyszczalnie ścieków,
- kontenerowe filtry do oczyszczania ścieków,
- metody rolniczego unieszkodliwiania osadów ściekowych,



- technologia odnowy wody ze ścieków miejskich dla potrzeb przemysłowych,
- technologia zastosowania czystego tlenu do oczyszczania ścieków przemysłu organicznego metoda osadu czynnego,
- linie technologiczne odnowy wody i zamkniętych obiegów wodnych,
- technologia wytwarzania dyfuzorów do drobno-pęcherzykowego napowietrzania ścieków,
- urządzenia do rekultywacji zbiorników wodnych,
- technologia oczyszczania ścieków zaolejonych pochodzących z obiektów technicznej obsługi rolnictwa,
- oczyszczalnia retencyjno-ewaporacyjna ścieków pestycydowych,
- technologia produkcji koagulantów do osadów ściekowych,
- usuwanie ścieków z terenów zabudowy o niskiej gęstości zaludnienia,
- metody ochrony wód powierzchniowych przed wodami zasolonymi,
- oczyszczanie ścieków galwanicznych z zamkniętym obiegiem wody,
- oczyszczanie ścieków galwanicznych z odzyskiem metali ciężkich i soli,
- zautomatyzowana oczyszczalnia ścieków galwanicznych,
- technologia i produkcja węgla aktywnego,
- technologia usuwania azotanów z wód podziemnych przeznaczonych do picia,
- urządzenia do ujęć i wstępnego uzdatniania wody,
- ciągi technologiczne do ozonowania wody,
- urządzenia do przygotowania roztworów polielektrolitów do wody i ścieków.

W roku 1987, dziewięć celów przeniesiono do dalszej realizacji w bloku tematycznym „Zaopatrzenie w wodę aglomeracji katowicko-bielskiej”, a powyższej grupie tematycznej nadano nazwę „Wysokoefektywne technologie uzdatniania wody i oczyszczania ścieków”.

W drugim etapie (1988-1989) wprowadzono cztery cele (uprzednio realizowane w programie CPBR 11.4), a mianowicie:

- technologia chemicznego strącania fosforu i biologicznego usuwania substancji biogenych na drodze biologicznej,
- udoskonalenie funkcjonowania spółek wodno-ściekowych,
- standardy i zasady odprowadzania wód opadowych do wód powierzchniowych i gruntu,
- metodyka rachunku optymalizacyjnego przy wyborze lokalizacji oczyszczalni ścieków.

Rozpoczęto również realizację pięciu nowych celów, takich jak:

- zastosowanie węgla aktywnego w wodociągach komunalnych,
- ekonomiczna efektywność technologii oczyszczania ścieków i zamykania obiegów wodnych,



- technologia beztlenowego oczyszczania ścieków,
- system informatyczny obiektów oczyszczania ścieków;
- technologia oczyszczania ścieków w komorach napowietrzania z częściowo unieruchomiona biomasa.

W trzecim etapie, obejmującym rok 1990, kontynuowano realizację celów do ich zakończenia i zakończono 20 celów.

### **7.3. Projekt Badawczy Zamawiany PBZ 28-02**

Główny Wykonawca – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, wraz z Współwykonawcami, wygrał konkurs otwarty Komitetu Badań Naukowych (KBN) na realizację Projektu Badawczego Zamawianego Nr PBZ 28–02, zamówiony przez Ministra Środowiska. Do Współwykonawców należeli: Instytut Ochrony Środowiska (IOŚ), Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (IETU), Państwowy Instytut Geologiczny (PIG), Instytut Chemii Przemysłowej (IChP), Instytut Celulozowo Papierniczy (ICP), Instytut Przemysłu Cukrowniczego (IPC), Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa (IGNiG), Główny Instytut Górnictwa (GIG), Instytut Melioracji i Użytków Zielonych (IMUZ). Wśród powyższych instytutów, cztery instytuty stanowiły jednostki badawczo-rozwojowe resortu ochrony środowiska (IMGW, IOŚ, IETU i PIG), współpracujące z powodzeniem z sześcioma instytutami przemysłu i rolnictwa. Projekt został zatwierdzony do realizacji na podstawie decyzji Przewodniczącego Komitetu Badań Naukowych, a na jego realizację zawarta została umowa pomiędzy: Komitetem Badań Naukowych, Ministerstwem Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Kierownikiem Zespołu Realizacyjnego. Do projektu PBZ 28 – 02, na podstawie decyzji Komitetu Badań Naukowych, włączono dodatkowo projekt badawczy zamawiany nt. „Zachowanie równowagi w kształtowaniu, ochronie i użytkowaniu zasobów wodnych i środowiska na przykładzie zlewni testowej (rzeka Radomka)”, który wygrała Politechnika Lubelska.

Celem głównym projektu było opracowanie podstaw naukowych wyboru strategii ogólnej ochrony krajowych zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem uwzględniającej strategię cząstkowe dla zidentyfikowanych problemów ochrony wód i opracowanie na tej podstawie propozycji konkretnych, strategicznych kierunków działań. Cel główny projektu został zrealizowany poprzez wykonanie następujących celów cząstkowych w formie zadań badawczych:

- strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń komunalnych (zadanie 1) kierownik: doc. dr inż. Paweł Błaszczyk,
- strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń toksycznych (zadanie 2) kierownik: dr inż. Olga Kosarewicz,

- strategia i działania ograniczające ładunki azotu (zadanie 3) kierownik: doc. dr inż. Teresa Bogacka,
- strategia i działania ograniczające ładunki fosforu (zadanie 4) kierownik: dr inż. Aleksandra Żelechowska,
- strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń w wybranych gałęziach przemysłu tj. opracowanie strategii i strategicznych kierunków działań w przemyśle chemicznym, celulozowo-papierniczym, cukrowniczym, górnictwa nafty i gazu (zadanie 5), kierownicy: dr inż. Marek Ślesicki, doc. dr inż. Alojzy Kłopotek, dr inż. Andrzej Sokół, dr inż. Bożena Połec, dr inż. Katarzyna Steczko,
- strategia i działania ograniczające zasolenie wód (zadanie 6) prof. dr hab. inż. Marek Rogoż,
- strategia i działania ograniczające zanieczyszczenia obszarowe pochodzenia rolniczego (zadanie 7) prof. dr hab. inż. Andrzej Sapek,
- strategia sanitacji wsi w zakresie oczyszczania ścieków (zadanie 8) dr inż. Mikołaj Sikorski,
- strategia ograniczająca zanieczyszczenia wód podziemnych (zadanie 9) mgr Jan Mitrega,
- opracowanie założeń krajowej polityki oraz strategii i programu działań ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem tj. synteza łącząca podane powyżej strategię (zadanie 10), doc. dr inż. Marek Gromiec.

PBZ 28-02 był jednym z największych projektów zamawianych Komitetu Badań Naukowych,

W ramach tego projektu opracowano strategię oraz strategiczne kierunki działań dla: zanieczyszczeń komunalnych, zanieczyszczeń toksycznych, zanieczyszczeń azotem i fosforem, zanieczyszczeń z wybranych gałęzi przemysłu (chemicznego, celulozowo-papierniczego, cukrowniczego, górnictwa nafty i gazu), zasolenia wód, zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia rolniczego, sanitacji wsi w zakresie oczyszczania ścieków, zanieczyszczenia wód podziemnych. Tam gdzie stosowne, strategię opracowano z punktu widzenia ochrony zdrowia i przyrody oraz potrzeb gospodarczych. Celem głównym projektu było opracowanie podstaw naukowych wyboru strategii ochrony krajowych zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem, uwzględniającej powyżej podane strategię cząstkowe dla zidentyfikowanych problemów ochrony wód postawionych przez resort ochrony środowiska. Podstawy naukowe wyboru polityki i strategii ochrony wód zostały opracowane jako integralne części polityki i strategii gospodarki wodnej. Ważniejsze podstawy zostały przedstawione powyżej. Zakład Gospodarki Wodnej IMGW pełnił wiodącą rolę przy opracowywaniu powyższych podstaw naukowych strategii ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem.

Równocześnie Zakład Gospodarki Wodnej w Warszawie IMGW był koordynatorem zadania 5, a realizatorem zadania 5A.

Realizacja wszystkich zadań projektu umożliwiła określenie konkretnych kierunków działań strategicznych. Przedstawione działania strategiczne ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem zostały ujęte w proponowanym planie realizacyjnym określającym zagadnienia, zalecane działania oraz priorytety. Projekt, od względem merytorycznym, został oceniony jako znakomity, to oznacza, że uzyskał najwyższą ocenę KBN. Rozliczenie finansowe projektu zostało zatwierdzone przez Departament Ekonomiczny KBN, a w ramach kontroli NIK projekt uzyskał ocenę – bardzo dobry.

#### **7.4. Podsumowanie**

W przedstawionych skrótowo programach/projektach, opracowano wiele praktycznych rozwiązań i zastosowań, które niewątpliwie przyniosły efekty naukowe i gospodarcze, chociaż nie mogły rozwiązać wszystkich narastających problemów gospodarki wodnej. Wyniki zostały osiągnięte dzięki zaangażowaniu licznych zespołów i stanowiły podstawę dalszych działań projektantów, wykonawców i eksploatorów. Projekt PBZ 28-02, w którym opracowano podstawy naukowe strategii ochrony wód dla Polski, stanowił podstawę Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK).

#### **Bibliografia**

1. Gromiec M.J.: Wysokoefektywne technologie uzdatniania wody i oczyszczania ścieków. Raport CPBR 11.10. Polski Komitet ds. IAWPRC. Warszawa 1992.
2. Materiały na Krajową Konferencję Naukowo-Techniczną pt. „, Osiągnięcia Programu PR-7 „Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych”. IMGW/SITWM. Warszawa 1987.
3. Projekt Badawczy Zamawiany PBZ 08-02. Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem. Materiały na Krajową Konferencję pod patronatem Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. NFGW/IMGW. Ustroń 1998.

## 8. Znaczenie racjonalizacji zużycia wody przemysłu w ochronie wód

Rozkład poboru wody przez sektory gospodarki przez ostatnie 20 lat nie uległ istotnym zmianom. Pobory wody przez użytkowników przemysłowych stanowią około 70% poboru wody na potrzeby gospodarki narodowej. Dla porównania, pobór wody dla potrzeb gospodarki komunalnej stanowi około 20%, a dla potrzeb rolnictwa, leśnictwa i stawów rybnych około 10%. Przemysł jest największym użytkownikiem wód w Polsce, wywierającym również znaczący, negatywny wpływ na stan jakości zasobów wodnych. Przez wiele lat, rozwój przemysłu stanowił naczelną cel centralnie sterowanej gospodarki. Duże nakłady kierowano na pozyskiwanie surowców, inwestycje przemysłowe oraz rozwój i wdrożenia nowszych technologii produkcji, natomiast znacznie mniejszą wagę przywiązywano do oceny szkodliwych dla środowiska skutków działalności przemysłowej oraz do promowania działań zmierzających do ich likwidacji lub minimalizacji. Podejmowanie, przez zakłady przemysłowe, działań racjonalizujących wykorzystanie zasobów wodnych, wynika głównie z czynników fizycznych (deficyt lokalnych zasobów dla zaopatrzenia w wodę), czynników ekonomicznych oraz ograniczeń prawnych. Przemysł wykorzystuje zasoby wodne w dwojaki sposób: jako źródło zaopatrzenia w wodę oraz miejsce odprowadzania wód zużytych w procesach produkcyjnych. Procesy technologiczne prowadzone w zakładach przemysłowych wymagają dostarczenia dostatecznej ilości wody o zadawalającej jakości, ale jednocześnie możliwości spełnienia tych wymagań są ograniczane poprzez odprowadzanie ścieków do wód. W miarę intensyfikacji działalności przemysłowej sprzeczność ta może stać się barierą rozwojową i wymusza podejmowanie stosownych działań, zarówno w zaopatrzeniu w wodę jak i odprowadzaniu ścieków. Rozdział opracowano w oparciu o rozszerzone informacje z realizacji projektu PBZ 28-02 [1-2].

### 8.1. Możliwości racjonalizacji zużycia wody w przemyśle

Badania nad kierunkami i możliwościami racjonalizacji zużycia wód w przemyśle, podjęto w ramach PBZ 28-02 (zadanie 5A, kierownik dr inż. **Marek Ślesiński**) w Zakładzie Gospodarki Wodnej W Warszawie IMGW, z uwagi na związek zużycia wody z ochroną wód przed zanieczyszczeniem. W badaniach tych, podzielono działania ograniczające wpływ przemysłu na stan zasobów wodnych na: intensywne i ekstensywne. *Działania ekstensywne* ukierunkowane są, z jednej strony na dostarczenie użytkownikom przemysłowym wymaganej przez nich ilości wody o odpowiedniej jakości (wspomagane w zależności od potrzeb uzdatnianiem pobieranej wody), z drugiej na przeciwdziałaniu zanieczyszczeniu zasobów

wodnych poprzez oczyszczanie odprowadzanych ścieków. W gospodarce wodnej, przedsięwzięcia te polegają na: retencjonowaniu i przerzutach wody z regionów o mniej zanieczyszczonych zasobach wód powierzchniowych, sięganiu do czystych zasobów wód podziemnych lub intensyfikacji procesów uzdatniania wody. Natomiast, w gospodarce ściekowej, są to przede wszystkim oczyszczanie ścieków wytworzonych w procesach produkcyjnych. *Działania intensywne* polegają na optymalizacji technologii przemysłowych pod kątem eliminowania procesów uciążliwych dla środowiska, wprowadzaniu technik recykulacji wód i produktów oraz metod odzysku i ponownego wykorzystania wód i odpadów poprodukcyjnych. Działania zmierzające do ograniczenia ilości pobieranej wody dotyczą najczęściej: zamykania obiegów wodnych, wielokrotnego użytkowania wody w obiegach (układy szeregowe), minimalizacji wodochłonności procesów produkcyjnych oraz przedsięwzięć technicznych zmierzających do ograniczenia strat wody. Działania ukierunkowane na zmniejszenie ilości wytwarzanych zanieczyszczeń, sprowadzają się najczęściej do stosowania: recykulacji (ponownego wykorzystania odzyskanego składnika jako produktu w procesie w którym został wytworzony), ponownego użycia (wykorzystanie składników z odzysku jako surowca w procesie produkcyjnym) i odzysku (wyodrębnienia określonych składników z ogólnej masy odpadów lub ścieków). Wielkość i struktura potrzeb wodnych przemysłu, zarówno w zakresie zaopatrzenia w wodę jak i odprowadzenia ścieków, zależy od specyfiki branżowej, wynikającej z rodzaju produkcji, stosowanych technologii oraz sposobów wykorzystania wody w procesach produkcyjnych. Uwarunkowania branżowe wywierają wpływ na rodzaj działań mających na celu ochronę zasobów wodnych przed wpływem działalności przemysłowej.

## 8.2. Działania dotyczące racjonalizacji zużycia wody przez przemysł

W ramach badań PBZ 28-02 przeprowadzone szczegółowe badania nad racjonalnością wykorzystania wody przez przemysł oraz zużycia wody w wybranych celach przez przedsiębiorstwa przemysłowe w Polsce, pod koniec XX wieku. Największe ilości wody zużywał wówczas, tak jak obecnie, przemysł paliwowo energetyczny. Całkowity pobór wód przez ten przemysł stanowi powyżej 80% poboru wody przez przemysł, co wynika głównie z faktu wykorzystywania pobieranej wody w otwartych obiegach chłodzenia elektrowni ciepłych. Drugim z kolei, jeśli chodzi o ilość pobieranej wody, jest przemysł chemiczny pobierający około 6% całkowitej ilości wody pobieranej przez przemysł. Pozostałe rodzaje przemysłu pobierają znacznie mniejsze ilości wody.

Zasoby wód powierzchniowych wykorzystywane były do zaspokojenia potrzeb wodnych głównie przez użytkowników należących do dwóch branż

przemysłowych: przemysłu paliwowo energetycznego (89% wykorzystywanych wód powierzchniowych jest pobieranych przez zakłady tego przemysłu) i przemysłu chemicznego (6%). Pozostałe rodzaje przemysłu pobierały łącznie jedynie 5% całości wód powierzchniowych pobieranych bezpośrednio przez użytkowników przemysłowych.

W przypadku poborów wody przez przemysł z zasobów wód podziemnych, sytuacja była odmienna. Udział poszczególnych rodzajów przemysłu w poborze wód podziemnych był znacznie bardziej wyrównany, niż w przypadku poboru wód powierzchniowych. Największym konsumentem wód podziemnych był przemysł spożywczy, którego udział w całkowitym poborze tych wód wynosił 27%. Udział innych branż przemysłowych wynosił od 14% (przemysł chemiczny) do 3.5% (przemysł drzewno-papierniczy). Wielkość poboru wód kopalnianych i wód zakupionych z wodociągów komunalnych zależała głównie od lokalizacji zakładów przemysłowych w obszarach eksploatacji złóż surowców mineralnych i w obrębie aglomeracji miejskich.

Przemysł wywiera wpływ na zasoby wodne, nie tylko poprzez wykorzystywanie ich jako źródła zaopatrzenia w wodę, lecz także poprzez odprowadzanie do nich wód zużytych w procesach produkcyjnych. Ilość, rodzaj i miejsce odprowadzania ścieków w dużym stopniu zależne są od specyficznych cech poszczególnych rodzajów przemysłu. Podstawowym odbiornikiem ścieków przemysłowych są zasoby wód powierzchniowych, gdzie, bezpośrednio odprowadzanych było 96% wytwarzanych ścieków. Za pośrednictwem kanalizacji miejskiej odprowadzono 3% ścieków, pozostałe ścieki odprowadzane były do ziemi lub innych odbiorników.

Generalnie można wyróżnić dwa rodzaje odprowadzanych ścieków: ścieki wymagające oczyszczania (ścieki z operacji technologicznych i ścieki bytowo gospodarcze) stanowiące 15% całkowitej ilości ścieków odprowadzanych przez przemysł oraz ścieki „umownie czyste” (głównie odprowadzane odrębnym systemem kanalizacji wody pochłonicze) stanowiące odpowiednio 85%. Część ścieków, wymagających oczyszczania, była oczyszczana (ok. 88%), pozostałe ścieki były odprowadzane do wód powierzchniowych bez oczyszczania. Największe ilości ścieków oczyszczanych odprowadzane były z zakładów: przemysłu paliwowo energetycznego (40% ogólnej ilości ścieków oczyszczanych), chemicznego (19%), drzewno-papierniczego (13%) oraz metalurgicznego (12%). Ścieki nie oczyszczane były odprowadzane głównie z zakładów: przemysłu metalurgicznego (41% ogólnej ilości odprowadzanych ścieków nie oczyszczanych), chemicznego (21%), mineralnego (12%) oraz paliwowo-energetycznego (9%). Ścieki „umownie czyste” odprowadzane były głównie z zakładów przemysłu paliwowo energetycznego (ok. 96% ogólnej ilości odprowadzanych ścieków tego rodzaju). Udział ilości ścieków umownie czystych w całkowitej ilości ścieków odprowadzanych



do wód powierzchniowych określa pośrednio stopień zamknięcia obiegów wód chłodniczych, a co za tym idzie możliwości ograniczenia wodochłonności danej branży przemysłowej. Ogółem w przemyśle polskim wskaźnik udziału ścieków umownie czystych w ogólnej ilości ścieków odprowadzanych wynosił 85%. W poszczególnych branżach przemysłowych wskaźnik ten zmieniał się od 94% dla przemysłu paliwowo energetycznego, do 6% dla przemysłu metalurgicznego. Udział ilości ścieków oczyszczanych w całkowitej ilości ścieków wymagających oczyszczenia określa stopień zaawansowania danej branży przemysłowej we wdrażaniu przedsięwzięć z zakresu ochrony środowiska. Ogółem w przemyśle polskim, oczyszczanych było 88% ścieków wymagających oczyszczenia. W poszczególnych branżach przemysłowych wskaźnik ten zmieniał się od 98% dla przemysłu drzewno – papierniczego, do 67% dla przemysłu metalurgicznego.

Na przestrzeni ostatnich lat, można zaobserwować jednoznacznie spadkowe tendencje zmian wszystkich podstawowych wielkości opisujących gospodarkę wodno-ściekową przemysłu. Tendencja spadkowa potrzeb wodnych wywołana jest głównie spadkiem wielkości produkcji przemysłowej oraz zachodzącymi w przemyśle zmianami strukturalnymi. W stosunkowo niewielkim stopniu występuje podejmowanie systematycznych i znaczących działań racjonalizacyjnych. Nieznaczące wahania poszczególnych analizowanych wielkości wynikają, głównie z zachodzących w przemyśle zmian strukturalnych. Jedynym działaniem, które ma charakter systematyczny i przynosi zauważalne, w przyjętej skali, efekty jest procentowe zwiększenie ilości ścieków oczyszczanych. Istotne jest też zwiększenie się udziału ilości ścieków „umownie czystych” w całkowitej ilości ścieków odprowadzanych przez przemysł. Proporcjonalne zwiększanie się ich ilości, wskazuje na zwiększający się udział procesów chłodzenia w obiegach otwartych, w ogólnym zużyciu wody na cele przemysłowe. Podnosi to wagę zagadnień związanych z ograniczeniem wodochłonności, poprzez zwiększanie stopnia recyrkulacji wody, w całości kształcie działań racjonalizujących gospodarkę wodno – ściekową przemysłu.

Większość (93%) wody pobieranej przez przemysł w Polsce, zużywana była dla zaspokojenia potrzeb związanych z chłodzeniem urządzeń produkcyjnych, surowców i produktów. Pozostałe potrzeby wodne przemysłu stanowiły jedynie około 7%. W przypadku różnych rodzajów przemysłu proporcje pomiędzy wielkością poszczególnych rodzajów potrzeb wodnych mogą być odmienne, co wynika ze specyfiki ich procesów technologicznych i stopnia recyrkulacji wody. Najwyższy stopień recyrkulacji wody w przemyśle polskim, występuje przy jej wykorzystaniu dla celów energetycznych i transportu hydraulicznego. Biorąc pod uwagę, że największe zużycie wody następuje dla celów chłodniczych, stosunkowo niewielki stopień recyrkulacji wody wykorzystywanej dla tych celów ma decydujący wpływ na kształtowanie się wartości bezwzględnych poborów wody przez

przemysł w Polsce. Rozpatrując kształtowanie się wartości wskaźników recykulacji w poszczególnych rodzajach przemysłu można stwierdzić ich duże zróżnicowanie. Największy stopień recykulacji wody wystąpił w zakładach przemysłu metalurgicznego (99%) i elektromaszynowego (89%), najmniejszy w zakładach przemysłu lekkiego (15%) i drzewno-papierniczego (27%).

Waga i podatność poszczególnych sposobów wykorzystania wody na ograniczenie ich wodochłonności stanowią podstawę sformułowania kierunków działań proponowanych do podjęcia w tym zakresie. Poniższe kierunki racjonalizacji zużycia wody na poszczególne cele jej wykorzystania, mają charakter ogólny i w zasadzie nie zależą od specyfiki branżowej i warunków lokalnych poszczególnych użytkowników przemysłowych. Możliwości zastosowania określonych kierunków racjonalizacji są natomiast silnie uzależnione od warunków lokalnych. Całkowity pobór wody świeżej, dla celów socjalno-bytowych w przemyśle polskim stanowił niespełna 1% całkowitego poboru wody. Udział poboru wody na cele socjalno-bytowe, w całkowitym poborze wody jest silnie uzależniony od rodzaju przemysłu i zmieniał się od 0.5% w przemyśle paliwowo energetycznym do 27% w przemyśle elektromaszynowym. Biorąc pod uwagę specyfikę rozpatrywanego celu wykorzystania wody (występowanie tylko obiegów otwartych i praktycznie niemożliwe zwiększenie stopnia wielokrotności wykorzystania wody), zalecanym kierunkiem racjonalizacji zużycia wody, powinno być, według powyższych badań, podejmowanie działań mających na celu ograniczanie strat bezzwrotnych (np. jałowe przelewy), wprowadzanie technicznego normowania zapotrzebowania wody i jej zużycia, przykładowo w oparciu o wartości wskaźników jednostkowego zużycia wody oraz podejmowanie działań o charakterze organizacyjnym. Przedsięwzięcia dotyczące ograniczenia zużycia wody na cele socjalno-bytowe, mogą mieć jedynie znaczenie pomocnicze w całości kształcie działań mających na celu zmniejszenie wodochłonności przemysłu, głównie ze względu na stosunkowo niewielkie możliwości techniczne zmniejszenia ilości wody wykorzystywanej na te cele oraz proporcjonalnie niewielkie ilości zużywanej wody.

### 8.3. Wybrane cele wykorzystania wody w przemyśle

Wielkość zużycia wody przez zakłady przemysłowe zależy od szeregu czynników, z których najistotniejszymi są: cel na który przeznaczona jest woda oraz sposób jej rozprowadzenia (rodzaj obiegu). Woda pobierana przez zakłady przemysłowe wykorzystywana jest do różnych celów, których ilość i waga zmieniają się w zależności od wielkości i specyfiki produkcji zakładów. W badaniach zadania PBZ 28-02 wyróżniono kilka podstawowych celów wykorzystania wody w zakładach przemysłowych, takich jak: do chłodzenia (urządzeń, surowców i produktów);



do mycia (urządzeń, surowców, produktów i pomieszczeń); jako nośnika energii; jako surowca w procesie produkcji; jako środka transportu; do potrzeb bytowo-gospodarczych; wykorzystanie wody do innych celów.

**Wykorzystanie wody w procesach chłodzenia.** Całkowity pobór wody świeżej, dla celów chłodniczych w przemyśle polskim wynosił 7585 mln. m<sup>3</sup>, co stanowiło 93% całkowitego poboru wody. Udział poboru wody na cele chłodzenia, w całkowitym poborze wody zmieniał się od 3% w przemyśle lekkim do 97% w przemyśle paliwowo-energetycznym, stanowiąc w przypadku większości rodzajów przemysłu główny cel wykorzystania wody. Przy wykorzystaniu wody na cele chłodzenia istnieją znaczne, techniczne możliwości racjonalizacji związanej z nimi gospodarki wodnej. Wynikają one głównie z rodzaju wód używanych w procesach chłodzenia oraz sposób ich wykorzystania. Wody chłodnicze i ścieki pochłodnicze („umownie czyste”) są najczęściej stosunkowo w małym stopniu zanieczyszczone, a przez to łatwe do powtórnego wykorzystania lub ujęcia w obieg zamknięty. Ścieki odprowadzane z operacji chłodzenia stanowią podstawowy „zasób” dla przedsięwzięć polegających na wtórnym wykorzystaniu wód w obiegach otwartych. Podstawowymi kierunkami działań stają się w tym przypadku: zamykanie obiegów wodnych oraz zwiększanie wielokrotności wykorzystania wody w obiegach otwartych (zarówno przez zasilanie obiegów chłodniczych jak i przez stosowanie do innych celów w zakładzie przemysłowym). Analiza przeprowadzona w zadaniu, nie wykazała istnienia wyraźnych uwarunkowań branżowych możliwości zmniejszenia zużycia wody dla celów chłodzenia. Jest to, jak się wydaje, związane ze specyfiką rozpatrywanych procesów których wodochłonność bardziej zależy od przyjętego systemu zasilania i parametrów technicznych urządzeń. Różny stopień zaawansowania procesów recyrkulacji w poszczególnych rodzajach przemysłu oraz różna wielkość zapotrzebowania wody na cele chłodzenia, powodują jednak, że zwiększanie stopnia recyrkulacji będzie przynosiło zróżnicowane efekty wyrażone wielkością zmniejszenia poboru wody świeżej.

**Wykorzystanie wody do mycia.** Całkowity pobór wody świeżej, dla celów mycia w przemyśle polskim wynosił około 114 mln. m<sup>3</sup>, co stanowiło 1,4% całkowitego poboru wody. Udział poboru wody na cele mycia, w całkowitym poborze wody jest silnie uzależniony od rodzaju przemysłu i zmienia się od wielkości bliskiej 0 w przemyśle metalurgicznym do 72% w przemyśle lekkim. Specyfika procesów mycia powoduje, że techniczne możliwości ograniczania w nich zużycia wody są bardzo zróżnicowane. Największe możliwości istnieją w tych procesach mycia które nie stawiają dużych wymagań odnośnie jakości wody w nich wykorzystywanej. Istnieją wtedy pewne możliwości wprowadzania wielokrotnego

wykorzystywania wody w obiegach otwartych jak również zamykania obiegów wodnych. W procesach mycia, jako możliwe do wykorzystania, należy wyróżnić kierunki racjonalizacji zużycia wody polegające na: ograniczaniu strat bezwrotnych i jałowych przelewów, gromadzeniu mniej zanieczyszczonych wód zużytych i wykorzystaniu ich w innych procesach na terenie zakładu, zamykaniu obiegów wodnych.

**Wykorzystanie wody jako nośnika energii.** Wykorzystanie wody jako nośnika energii ma charakter zbliżony do, omawianego wcześniej, wykorzystania wody dla celów chłodzenia. W obu przypadkach mamy do czynienia z odprowadzaniem „umownie czystych” wód wykorzystywanych w operacjach technologicznych, które mogą być wykorzystywane jako źródło dla pokrycia części potrzeb wodnych odprowadzających je użytkowników przemysłowych. Wykorzystanie wody jako nośnika energii stanowi, po celach chłodniczych, drugą pod względem ilości kategorię wykorzystania wody w przemyśle. Całkowity pobór wody świeżej, dla celów związanych z wykorzystaniem wody jako nośnika energii, w przemyśle polskim wynosił 146 mln. m<sup>3</sup> co stanowiło 1.8% całkowitego poboru wody. Udział poboru wody na rozpatrywane cele, w całkowitym poborze wody zmienił się od 1.2% w przemyśle paliwowo energetycznym do 11.4% w przemyśle metalurgicznym. Procesy w których następuje wykorzystanie wody jako nośnika energii są drugą, obok procesów chłodzenia, grupą procesów w której potencjalne możliwości racjonalizacji zużycia wody są największe. Powody takiego stanu są analogiczne jak w przypadku procesów chłodzenia. Podstawowymi kierunkami działań stają się tutaj zamykanie obiegów wodnych, zwiększanie wielokrotności wykorzystania wody w obiegach otwartych oraz wykorzystanie ścieków kotłowych do innych celów w zakładzie lub poza nim.

**Wykorzystanie wody jako surowca w procesie produkcji.** Całkowity pobór wody świeżej, wykorzystywanej jako surowiec w procesie produkcji, w przemyśle polskim wynosił 122 mln. m<sup>3</sup> co stanowiło 1.5% całkowitego poboru wody. Udział poboru wody na rozpatrywane cele, w całkowitym poborze wody jest silnie uzależniony od rodzaju przemysłu i zmienia się od wielkości bliskiej 0 w przemyśle paliwowo energetycznym do 84.5% w przemyśle drzewno-papierniczym. Specyfika procesów wykorzystujących wodę jako surowiec produkcyjny powoduje, że możliwości racjonalizacji zużycia wody w tej grupie procesów są znacznie niższe niż w grupach opisywanych wcześniej. W omawianych procesach woda najczęściej wykorzystywana jest w obiegach otwartych i z uwagi na wymagania jakościowe woda świeża nie może być zastępowana wodą wtórną. Najczęściej, wykorzystywana woda jest wiązana w produkcie finalnym i nie ma możliwości

jej powtórnego wykorzystywania. W takiej sytuacji jedyną drogą zmniejszenia zużycia wody jest wprowadzanie technologii wodo-oszczędnych oraz likwidowanie strat wynikających z jałowych przelewów i niewłaściwego stanu technicznego urządzeń produkcyjnych i urządzeń gospodarki wodnej.

**Wykorzystanie wody jako środka transportu.** Całkowity pobór wody świeżej, dla celów transportu hydraulicznego w przemyśle polskim wynosił 57 mln. m<sup>3</sup>, co stanowiło 0.7% całkowitego poboru wody. Udział poboru wody na cele transportu hydraulicznego, w całkowitym poborze wody jest uzależniony od rodzaju przemysłu i zmieniał się od wielkości bliskiej 0 w przemyśle mineralnym do 5% w przemyśle metalurgicznym. Racjonalizacja zużycia wody w procesach transportu hydraulicznego polegać może głównie, co wynika bezpośrednio ze specyfiki tego typu procesów, na zwiększaniu stopnia wielokrotności wykorzystania wody. Może to być osiągnięte na drodze wielokrotnego wykorzystania wody w obiegach otwartych (zasilanie obiegów hydrotransportu wodą wtórną) lub zamykania obiegów wodnych. Pomocniczym kierunkiem działań racjonalizacyjnych powinno być dążenie do eliminacji strat wynikających z jałowych przelewów i niesprawności urządzeń.

**Wykorzystanie wody na inne cele.** Całkowity pobór wody świeżej, dla celów innych w przemyśle polskim wynosił 16 mln. m<sup>3</sup>, co stanowiło 0.2% całkowitego poboru wody świeżej. Udział poboru wody na cele inne, w całkowitym poborze wody jest uzależniony od rodzaju przemysłu i zmieniał się od wielkości bliskiej 0 w przemyśle drzewno-papierniczym do 6% w przemyśle elektromaszynowym. W grupie procesów innych znajdują się procesy, często bardzo od siebie różne. Nie ma zatem praktycznie możliwości określenia wspólnych, dla wszystkich procesów wchodzących w skład grupy procesów innych, zalecanych kierunków działań racjonalizacyjnych. Kierunki te mogą być określone tylko dla poszczególnych procesów jednostkowych przy uwzględnieniu ich specyfiki.

Na podstawie przedstawionych powyżej sposobów zmniejszenia zużycia wody na poszczególne cele można stwierdzić, że największe możliwości racjonalizacji gospodarki wodnej zakładów przemysłowych występują w procesach chłodzenia i w procesach wykorzystujących wodę jako nośnik energii. Podstawowymi kierunkami działań racjonalizacyjnych w tej grupie procesów są: zamykanie obiegów wodnych oraz zwiększanie wielokrotności wykorzystania wody w obiegach otwartych, czyli ogólnie podnoszenie stopnia recyrkulacji wody. Kierunki te, z uwagi na wykazany priorytetowy charakter działań racjonalizacyjnych w obrębie procesów chłodzenia stają się kierunkami wiodącymi w dziedzinie racjonalizacji gospodarki wodnej przemysłu w Polsce. Przedstawiona waga zagadnień

racjonalizacji wykorzystania wody w procesach chłodzenia nie powinna powodować zaniechania działań racjonalizacyjnych w obrębie innych grup procesów technicznych i technologicznych wykorzystujących wodę w zakładach przemysłowych. W warunkach lokalnych racjonalizacja zużycia wody w tych procesach może mieć znaczenie decydujące dla poprawy stanu gospodarki wodnej poszczególnych zakładów przemysłowych.

#### 8.4. Podsumowanie

Obecny pobór wody przez gospodarkę narodową i ludność w Polsce został przedstawiony poniżej na podstawie sprawozdawczości Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) z 2020 roku [3]. Wynika z nich, że pobór ten, w latach 2000-2019, zmniejszył się o 15% (z 10,9 km<sup>3</sup> do 9,3 km<sup>3</sup>), a głównym źródłem zaopatrzenia były wody powierzchniowe (7,4 km<sup>3</sup>), szczególnie do celów produkcyjnych w przemyśle (6,3 km<sup>3</sup>). Najwięcej wody zużywała energetyka, w tym do celów chłodnictwa, bowiem przy wytwarzaniu i zaopatrywaniu w energię elektryczną, gaz, parę wodną i gorącą wodę zużywano około 89% ogólnego zużycia wody w przemyśle. Przetwórstwo przemysłowe, w tym przemysł chemiczny, stanowiło ogółem około 10% wody w przemyśle, a niewielka reszta to górnictwo, budownictwo i inne. Podano, że jedynie 4% wody na cele produkcyjne stanowi woda w obiegu zamkniętym, rozumianym jako układ, w którym woda zawracana jest do punktu bezpośredniego pobrania wody do obiegu, celem ponownego pobrania [3].

Przedstawione badania, wykonane pod koniec XX wieku, umożliwiły bardziej szczegółowe zbadanie działań dotyczących racjonalizacji wody przez przemysł w Polsce. Kierunki tej racjonalizacji wynikają bezpośrednio ze specyficznych cech różnych sposobów wykorzystania wody. Różnorodność technologiczna powoduje że, w różnych rodzajach przemysłu waga celów wykorzystania wody kształtuje się w sposób odmienny. Kierunki racjonalizacji dotyczą pierwszego sposobu wykorzystania zasobów wodnych przez przemysł jako źródła zaopatrzenia w wodę. Niemniej istotna jest również racjonalizacja ukierunkowana na ograniczenie wpływu przemysłu na stan jakościowy zasobów wodnych. Działania intensywne polegają na optymalizacji technologii przemysłowych pod kątem eliminowania procesów uciążliwych dla środowiska, wprowadzaniu technik recykulacji produktów oraz metod odzysku i ponownego wykorzystania odpadów poprodukcyjnych. Wyniki badań technologii przemysłowych, prowadzonych pod tym kątem, powinny znajdować wyraz w nowelizacji przepisów prawnych pozwalających na stosowanie technik o najniższych wartościach emisji zanieczyszczeń. W praktyce, wybór zastosowanej metody eliminującej ładunek szkodliwych substancji odprowadzanych do środowiska sprowadza się najczęściej do wyboru między technikami: recykulacji,

za pobór wody i zrzut ścieków, umożliwiając im pełnienie nie tylko funkcji polegającej na gromadzeniu środków finansowych, ale również funkcji bodźcowej. Ponowne użycie definiuje się jako proces, w którym odzyskiwane czynniki stają się produktem możliwym do ponownego wykorzystania. Recyrkulacja stanowi taki rodzaj ponownego użycie, w którym odzyskany materiał staje się surowcem w procesie w którym był wytworzony. Określenie kierunków i sposobów działań racjonalizujących wykorzystanie wody przez przemysł, musi przenosić się w sposób praktyczny na poziom poszczególnych zakładów przemysłowych.

Dlatego, celem stało się opracowanie metody określania kierunków i możliwości racjonalizacji użytkowania wody dla poszczególnych jej użytkowników. Celowi temu służy opracowana w ramach zadania PBZ 28-02, procedura przeglądu zakładu przemysłowego, ukierunkowanego na określenie możliwości ograniczenia jego oddziaływania na środowisko, określenie związanych z tym przedsięwzięć technicznych i technologicznych oraz ocena ich efektów ekonomicznych i ekologicznych. Postulowano wprowadzenie tego typu procedury jako obowiązującej przy ocenie możliwości racjonalizacji użytkowania wód przez użytkowników przemysłowych. W praktyce przemysłowej, przy kalkulacjach kosztów produkcji, w zasadzie nie uwzględniano w należyty sposób kosztów związanych z zanieczyszczeniem i degradacją środowiska oraz wyczerpywaniem surowców naturalnych. Doprowadziło to z czasem do strat w środowisku naturalnym, zagrożeń i zniszczeń ekologicznych. Dla przeciwdziałania tej sytuacji, wprowadza się chroniące środowisko, przepisy i normy prawne oraz system opłat, kar i podatków. Uznano, że podstawowym czynnikiem ekonomicznym oddziaływującym na podejmowanie działań racjonalizujących wykorzystanie wód przez użytkowników przemysłowych powinien być wprowadzony system opłat za pobór wody i zrzut ścieków, zwiększający efektywność ekonomiczną podejmowanych przedsięwzięć. W ujęciu makroekonomicznym opłaty za pobór wody i emisję zanieczyszczeń należy traktować jako ekwiwalent wartości strat ekonomicznych i społecznych, ponoszonych przez gospodarkę i społeczeństwo wskutek zanieczyszczenia środowiska. Stosowanie opłat za użytkowanie środowiska ma na celu przeniesienie tych kosztów zewnętrznych do rachunku ekonomicznego przedsiębiorstwa. Oznacza to stworzenie możliwości uwzględniania w tym rachunku efektów z tytułu redukcji wielkości opłat za zanieczyszczenie środowiska. Opłaty za szczególne korzystanie z wód stanowią realizację jednej z głównych zasad polityki ekologicznej państwa, stosowanej we wszystkich rozwiniętych gospodarczo krajach świata, a mianowicie zasady „zanieczyszczający płaci”. Oznacza ona konieczność „płacenia” za gospodarcze korzystanie ze środowiska i ponoszenia pełnej odpowiedzialności, w tym materialnej, za skutki zanieczyszczenia i innych zagrożeń dla środowiska, przez sprawcę. Opłaty za pobór wody i zrzut ścieków powinny jednak

pełnić dwie funkcje: finansową i bodźcową, będącą stymulatorem dla przedsiębiorstw podejmowania inwestycji proekologicznych w dziedzinie gospodarki wodnej i ochrony wód. Istotnym celem stosowania opłat jest uzyskanie zgodności pomiędzy racjonalnością makro i mikroekonomiczną w taki sposób, aby przedsięwzięcia dotyczące racjonalności wykorzystania z wód za istotne ze społecznego punktu widzenia w dziedzinie racjonalizacji wykorzystania wód, były równocześnie opłacalne dla jednostek gospodarczych, które mają ponosić nakłady na ich realizację. Spełnienie tej funkcji przez opłaty jest znacznie trudniejsze niż funkcji pierwszej. Funkcja bodźcowa opłat realizowana jest wówczas, gdy pełnią one rolę stymulatora dla przedsiębiorstw w kierunku podejmowania inwestycji proekologicznych w dziedzinie gospodarki wodnej i ochronie wód. Wskaźnikiem pokazującym możliwość pełnienia takiej roli jest udział opłat w kosztach produkcji. Według danych uzyskanych przy realizacji badań w ramach zadania, aż w 69% badanych zakładów przemysłowych wskaźnik ten miał wartość poniżej 1%, a w 27% przyjmowało wartości setnych i tysięcznych części procenta. Uznano, że skonstruowanie właściwego systemu opłat i kar wymaga oparcia się na dwóch podstawowych zasadach: zasadzie prawnej i zasadzie ekonomizacji. Zasada pierwsza polega na tym, że ustanowione prawo musi być bezwzględnie przestrzegane, a zasada druga polega na doprowadzeniu do samo finansowania się gospodarki wodnej, co stanowi obecnie zasadniczą trudność.

## **Bibliografia**

1. Projekt Badawczy Zamawiany PBZ 28-02.Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem. Materiały na Krajową Konferencję pod patronatem Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. NFGW/ IMGW. Ustroń 1998.
2. Gromiec M.: Badania nad gospodarowaniem wodą i ochrona wód Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej na progu XXI wieku. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN Nr 197. Wyd. Polskiej Akademii Nauk. Warszawa 2020.
3. Główny Urząd Statystyczny: Ochrona środowiska 2020. Warszawa 2020.



## 9. Akty prawne związane z ochroną wód i unijne zobowiązania Polski

Prawna ochrona wód przed zanieczyszczeniem stanowi najlepiej rozwinięty element ochrony środowiska i gospodarki wodnej w Unii Europejskiej (UE). W rozdziale przedstawiono dyrektywy w zakresie wody i ochrony zasobów wodnych oraz konwencje, jak też zobowiązania Polski do UE w tzw. obszarze jakości wód wraz z postanowieniami do poszczególnych dyrektyw. Rozdział został opracowany głównie na podstawie prac autora [1-2].

### 9.1. Dyrektywy Wspólnoty Europejskiej

Wspólnota Europejska przyjęła wiele aktów prawnych, w formie dyrektyw i decyzji, w zakresie jakości wody i ochrony zasobów wodnych. Począwszy od połowy lat 70-tych XX wieku wydano w tym zakresie wiele ważnych aktów Rady związanych z następującą problematyką:

- jakością zasobów wodnych służących jako źródło wody do poboru dla zaopatrzenia ludności w wodę (75/449/EWG), służących do organizowania kąpielisk naturalnych (76/160/EWG) oraz wód przeznaczonych do bytowania w warunkach naturalnych ryb (78/859/EWG) i skorupiaków (79/923/EWG),
- metodami pomiaru i częstotliwością pobierania próbek oraz analiza wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wody pitnej w państwach członkowskich (79/869/EWG),
- jakością wody wodociągowej, przeznaczonej dla ludności do picia (80/778/EWG), oraz jakością wody mineralnej dla konsumentów, jakością wody przeznaczonej do konsumpcji przez człowieka (98/83/UE),
- emisją różnych szkodliwych substancji, które mogą przedostawać się do wód: detergentów (73/404/EWG, 73/405/EWG), polichlorowanych bifenyli i polichlorowanych trójfenyli (76/403/EWG), substancji niebezpiecznych (76/464/EWG, 86/280/EWG, 88/347/EWG), rtęci (82/176/EWG, 84/156/EWG), kadmu (83/513/EWG), heksachlorocykloheksanu (84/491/EWG) i substancji pochodzących z produkcji dwutlenku tytanu (&8/176/EWG, 82/883/EWG),
- metodyką badań zdolności do biodegradacji niejonowych substancji powierzchniowo-czynnych (82/242/EWG),
- wymianą informacji o jakości wód powierzchniowych (decyzja 77/795/EWG),
- systemem informacyjnym dla kontroli i zmniejszania zanieczyszczenia przez rozlewy węglowodorów i innych substancji szkodliwych na morzu lub na większych wodach śródlądowych (decyzja 86/271/EWG),

- ochroną wód podziemnych przed pewnymi niebezpiecznymi substancjami (80/68/EWG),
- ochroną wód przed zanieczyszczeniem azotanami, pochodzącymi z rolnictwa (91/676/EWG),
- ochroną środowiska, a szczególnie gleby, w wyniku stosowania osadów ściekowych w rolnictwie (86/278/EWG),
- oczyszczaniem ścieków miejskich (91/271/EWG, 98/15/UE),
- zintegrowanym zapobieganiem i ochroną przed zanieczyszczeniem (98/61/UE).

Równocześnie wydano dyrektywy, związane z ochroną przyrody, mianowicie: ochroną dzikich ptaków (79/409/EWG) oraz ochroną dzikiej fauny i flory (92/43/EWG). Istnieje też wiele dyrektyw Rady, związanych pośrednio z ochroną wód, do których można zaliczyć dyrektywy dotyczące:

- metod poboru próbek i analiz nawozów (77/535/EWG),
- poważnych awarii przemysłowych (82/501/EWG),
- dostosowania prawa krajów członkowskich do ograniczeń, związanych ze stosowaniem substancji niebezpiecznych (76/469/EWG),
- oceny oddziaływania projektów publicznych i prywatnych na środowisko (85/337/EWG),
- oceny i kontroli ryzyka, związanego z produkowanymi substancjami (93/793/UE).

## 9.2. Konwencje

Zobowiązania międzynarodowe w zakresie ochrony wód związane są również z ochroną obszaru Morza Bałtyckiego, co znalazło wyraz w Konwencji Helsińskiej z 1974 roku, poprawionej w 1992 roku. Unia Europejska przystąpiła do konwencji na podstawie:

- decyzji Rady 84/156/UE, dotyczącej przystąpienia do Konwencji ochrony środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego,
- decyzji Rady 94/157/UE, dotyczącej zawarcia w imieniu Unii konwencji ochrony środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego (Konwencja Helsińska poprawiona w 1992 roku).

Polska jest stroną Konwencji Helsińskiej z roku 1974 od roku 1980, nowa Konwencja Helsińska z 1992 roku została przez Polskę ratyfikowana w 1999 roku.

Polska zawarła wiele innych umów międzynarodowych, w tym ratyfikowała bądź podpisała dużo konwencji, związanych bezpośrednio lub pośrednio z jakością zasobów wodnych i ochroną wód, do których można między innymi zaliczyć:

- Konwencja o ochronie i użytkowaniu granicznych cieków wodnych i międzynarodowych jezior (podpisana w Helsinkach w 1992 roku,



- Konwencja o obszarach wodno-błotnych mających, znaczenie międzynarodowe, szczególnie dla życia ptactwa wodnego (Konwencja Ramsarska z 1971 roku, której Polska jest stroną od 1978 roku),
- Konwencja o transgranicznych skutkach awarii przemysłowych (podpisana w Helsinkach w 1992 roku),
- Konwencja ramowa Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (podpisana w Rio de Janeiro w 1992 roku i ratyfikowana w 1994 roku).

### 9.3. Zobowiązania Polski do Unii Europejskiej w obszarze jakości wód

Przystępując do Unii Europejskiej (UE), Polska zaakceptowała całość wspólnotowego dorobku prawnego (*acquis communautaire*) w tzw. obszarze „jakości wód”.

Postanowienia zawarte w stanowisku UE w obszarze „środowisko”, wynikające z ogólnego stanowiska przyjętego przez Konferencję Akcesyjną z Polską, dotyczące „jakości wód”, obejmują następujące zagadnienia:

- jakość wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wody pitnej,
- jakość wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi,
- zanieczyszczenie wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych,
- odprowadzanie substancji niebezpiecznych do wód powierzchniowych,
- oczyszczanie ścieków komunalnych,
- ścieki przemysłowe odprowadzane do kanalizacji miejskiej,
- oczyszczanie ścieków przemysłowych ulegających biodegradacji.

Powyższe zagadnienia uzupełniono o politykę wodną UE i jej cele środowiskowe.

### 9.4. Postanowienia w stosunku do poszczególnych dyrektyw

**Jakość wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wody pitnej.** Polska wycofała się z wystąpienia o okres przejściowy dla dyrektywy 75/440/EWG dotyczącej wymaganej jakości wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wody pitnej w państwach członkowskich i zobowiązała się, że do dnia 31 grudnia 2001 roku nastąpi:

- pełna ocena jakości wód powierzchniowych w oparciu o parametry określone w dyrektywie 75/440/EWG;
- identyfikacja zadań inwestycyjnych zmierzających do poprawy jakości wód nie spełniających kategorii A3.

Równocześnie Unia Europejska przyjęła do wiadomości, że do dnia 31 grudnia 2002 wprowadzony zostanie:

- system monitoringu wód przeznaczonych do poboru wody pitnej, zgodny z wymaganiami dyrektywy 75/440/EWG.  
oraz, że do dnia akcesji, tj. do dnia 1 maja 2004 roku:
- jakość wód ujęć wody w Polsce, które wykorzystane są do poboru wody pitnej, będzie odpowiadała wymaganiom przynajmniej kategorii A3; zostaną opracowane szczegółowe programy jakości wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wody pitnej (po wejściu w życie nowej ustawy Prawo wodne).

**Jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.** Polska zobowiązała się, że w pełni wdroży dyrektywę 98/83/WE w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi do dnia akcesji, tj. do dnia 1 maja 2004 roku. Równocześnie Polska zobowiązała się, że:

- przedstawi kompleksowy program wdrożeniowy wskazujący konkretne działania:
  - zmierzające do spełnienia wszystkich parametrów,
  - zapewniające monitoring wody u użytkownika.

**Zanieczyszczenie wód azotanami ze źródeł rolniczych.** Polska, w zakresie ograniczenia zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych, postanowiła:

- wycofać wystąpienie o okres przejściowy dla wdrożenia dyrektywy 91/676/EWG dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (tzw. *dyrektywy „azotanowej”*);
- zidentyfikować obszary wrażliwe przyjmując kryteria dyrektywy azotanowej, przed terminem akcesji tj. dniem 1 maja 2004 roku;
- opracować program działań, do dnia akcesji tj. do dnia 1 maja 2004 roku.

Przyjęto, że realizacja programu działań zakończy się w stosownym czasie po akcesji, przy założeniu, że obowiązkowe działania (ujęte w programie) będą zastosowane do nowych powiększonych ferm hodowlanych.

**Odprowadzanie substancji niebezpiecznych do wód powierzchniowych.**

W zakresie substancji niebezpiecznych odprowadzanych do wód powierzchniowych, objętych dyrektywą: 76/464/EWG w sprawie zanieczyszczenia spowodowanego przez niektóre niebezpieczne substancje odprowadzane do środowiska wodnego Wspólnoty oraz dyrektywami pochodnymi:

- 82/176/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów rtęci z przemysłu elektrolizy chlorków metali alkalicznych,
- 83/513/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów kadmu,

- 84/156/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów rtęci z sektorów innych niż przemysł elektrolizy chlorków metali alkalicznych,
- 84/491/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów heksachlorocykloheksanu,
- 86/280/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów niektórych niebezpiecznych substancji objętych wykazem I załącznika do dyrektywy 76/464/EWG,
- 88/347/EWG, zmieniającej załącznik II do dyrektywy 86/280/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów niektórych substancji niebezpiecznych zawartych w wykazie I Załącznika do dyrektywy 76/464/EWG
- 90/415/EWG, zmieniającej Załącznik II do dyrektywy 86/280/EWG w sprawie wartości dopuszczalnych dla ścieków i wskaźników jakości wód w odniesieniu do zrzutów niektórych substancji niebezpiecznych zawartych w wykazie I Załącznika do dyrektywy 76/464/EWG.

W zakresie substancji toksycznych Polska przyjęła następujące ustalenia:

- do terminu akcesji, tj. do dnia 1 maja 2004 roku, zostaną w pełni wdrożone przepisy dotyczące:
  - heksachlorocykloheksanu,
  - DDT, aldryny, dieldryny,
  - endryny, izodryny;
- zrzuty pozostałych substancji niebezpiecznych z Listy I będą dozwolone na podstawie pozwoleń, które zostaną zweryfikowane;
- weryfikacja powyższych pozwoleń dla zidentyfikowanych 180 dużych zakładów rozpocznie się niezwłocznie;
- system monitoringu wód zostanie w pełni dopasowany do wymagań dyrektyw. Unia Europejska zaakceptowała rozwiązania przejściowe tylko do dnia 31 grudnia 2007 roku. Równocześnie w stosunku do substancji niebezpiecznych z Listy II, Polska zobowiązała się:
  - opracować i przyjąć programy redukcji zanieczyszczeń do dnia akcesji, tj. do dnia 1 maja 2004 roku;
  - ustalić prawnie wiążący termin wdrażania programów redukcji zanieczyszczeń nie później niż w ciągu sześciu lat od ich przyjęcia, co oznacza maksymalny termin do dnia 1 maja 2010 roku;
  - określić w programach redukcji zanieczyszczeń cele jakościowe i standardy emisji dla substancji z Listy II;
  - określić inne niezbędne środki redukcji zanieczyszczeń i postanowienia odnoszące się do monitoringu.

**Oczyszczanie ścieków komunalnych.** Polska potwierdziła, że osiągnięte zostaną następujące cele, zgodnie z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG;

- do dnia 31 grudnia 2005 roku ścieki będą oczyszczone w 674 aglomeracjach o łącznej RLM (równoważnej liczbie mieszkańców) wynoszącej 26 120 980, odpowiadającej 68,8% ogólnego ładunku substancji ulegających biodegradacji;
- do dnia 31 grudnia 2010 roku ścieki będą oczyszczone w 1069 aglomeracjach o łącznej RLM wynoszącej 32 680 776, odpowiadającej 86% ogólnego ładunku substancji ulegających biodegradacji;
- do dnia 31 grudnia 2013 roku ścieki będą oczyszczone w 1165 aglomeracjach o łącznej RLM wynoszącej 34 642 070, odpowiadającej 91,1% ogólnego ładunku substancji ulegających biodegradacji;
- do dnia 31 grudnia 2015 roku ścieki będą oczyszczone we wszystkich 1479 aglomeracjach o łącznej RLM wynoszącej 38 004 976, odpowiadającej 100% ogólnego ładunku substancji ulegających biodegradacji.

Ponadto, w odniesieniu do dyrektywy 91/271/EWG Polska przyjęła następujące ustalenia:

- całe terytorium zostało uznane za strefę wrażliwą na eutrofizację;
- określone wymagania dyrektywy ściekowej nie muszą stosować się w strefie wrażliwej do poszczególnych oczyszczalni, jeśli można udowodnić, że minimalna redukcja ogólnego ładunku biogenów wprowadzanego do wszystkich oczyszczalni wynosi co najmniej 75% dla fosforu ogólnego i 75% dla azotu ogólnego.

Zobowiązania Polski w zakresie odprowadzania i oczyszczania ścieków komunalnych zapisane zostały w Traktacie o Akcesji Polski do Unii Europejskiej. Zapisy tam zawarte są wynikiem powyższych ustaleń negocjacyjnych dotyczących sektora „Środowisko”, w okresie poprzedzającym przystąpienie.

**Ścieki przemysłowe odprowadzane do kanalizacji miejskiej.** W zakresie ścieków przemysłowych odprowadzanych do sieci kanalizacji miejskiej, Polska przyjęła, że wszelkie odprowadzane ścieki tego rodzaju będą spełniać warunki określone w dyrektywie 91/271/EWG.

**Oczyszczanie ścieków przemysłowych ulegających biodegradacji.** W odniesieniu do ścieków przemysłowych ulegających biodegradacji, pochodzących z określonych sektorów przemysłowych, które nie są wprowadzane do oczyszczalni ścieków komunalnych, Polska zaakceptowała:

- okres przejściowy do dnia 31 grudnia 2010 roku,
- warunki określone w tabeli 1.

Zobowiązania Polski w tym zakresie zostały zapisane w Traktacie o Akcesji Polski do Unii Europejskiej i dotyczą redukcji ładunków zanieczyszczeń biodegradowalnych odprowadzanych do wód z zakładów przemysłu rolno-spożywczego o wielkości powyżej 4000 RLM, do końca 2010 roku.

## **9.5. Podstawy polityki wodnej związanej z jakością wód Unii Europejskiej**

Dyrektywa 2000/60/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku, zwana Ramowa Dyrektywa Wodną (RDW) ustanowiła ramy dla działań Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej. Wprowadzając zintegrowane zarządzanie jakością wody, RDW ustaliła zależności między różnymi dyrektywami dotyczącymi jakości i ochrony wód, eliminując niekonsekwencje, występującymi między nimi. Stanowi podstawowy dokument prawny dotyczący gospodarowania i ochrony wód. RDW nie była przedmiotem bezpośrednich negocjacji, niemniej Unia Europejska zwróciła Polsce uwagę, że należy ją uwzględnić w czasie wdrażania unijnego dorobku prawnego w dziedzinie ochrony wód przed zanieczyszczeniem.

RDW weszła w życie w państwach członkowskich UE w dniu jej publikacji w Dzienniku Urzędowym Wspólnot Europejskich, tj. w dniu 22 grudnia 2000 roku. Należy dodać, że RDW uchylili w terminie 7 lat od daty jej wejścia w życie – dyrektywy: 75/440/ERWG, 77/795/EWG, 79/869/EWG, a w terminie 13 lat – dyrektywy: 77/659/EWG, 79/923/EWG, 80/68/EWG i dyrektywę 76/464/EWG (z wyjątkiem art.6, który został uchylony z dniem wejścia w życie RDW). Cele środowiskowe RDW między innymi obejmują:

- osiągnięcie dobrego stanu wód powierzchniowych najpóźniej w 15 lat od daty wejścia tej dyrektywy;
- osiągnięcie dobrego potencjału ekologicznego i dobrego stanu chemicznego wód powierzchniowych sztucznych i znacznie zmodyfikowanych odbiorników wodnych najpóźniej w 15 lat od daty wejścia tej dyrektywy;
- osiągnięcie dobrego stanu wód podziemnych najpóźniej w 15 lat od daty wejścia tej dyrektywy.

Tabela 1. Wymogi ustanowione dla ścieków przemysłowych ulegających biodegradacji z określonych sektorów przemysłowych

Nazwa sektora	Szacunkowe wielkości ładunku zanieczyszczeń organicznych mierzonych liczbą równoważną mieszkańców w ściekach doprowadzanych do oczyszczalni	
	Ogółem	w tym odprowadzanych przez oczyszczalnie co najmniej biologiczne lub o równoważnym efekcie oczyszczania
przetwórstwo mleka	801 200	600 000
przetwórstwo owoców i warzyw oraz ziemniaków	500 000	450 000
produkcja napojów w tym piwa produkcja i butelkowanie napojów bezalkoholowych browary produkcja alkoholu i napojów alkoholowych słodownie	183 300	144 000
przemysł mięsny	230 160	108 240
przetwórstwo rybne	0	0
Ogółem	1 714 660	1 302 240

## 9.6. Podsumowanie

Brak jest kompleksowej oceny całościowej realizacji zobowiązań Polski w „obszarze jakość wód”, obejmującym ochronę wód przed zanieczyszczeniem. Składowe takiej oceny, dla poszczególnych zobowiązań, winny być wykonywane systematycznie.

Najlepiej, w porównaniu z innymi dyrektywami, było monitorowane wykonywanie zobowiązań Polski w zakresie oczyszczania ścieków komunalnych, ze względu na przyjęcie przez rząd RP Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), obejmującego aglomeracje powyżej 2000 RLM. Monitorowanie i wiarygodna sprawozdawczość realizacji KPOŚK były jednak utrudnione z uwagi na brak, przez dłuższy czas, komputerowego systemu informacyjnego komunalnych oczyszczalniach ścieków, Wydaje się również, że brak systemu monitoringu zrzutów ścieków (w tym zrzutów z oczyszczalni ścieków) oraz brak w statystyce państwowej informacji o aglomeracjach (w rozumieniu dyrektywy) i katalogu aglomeracji opartego o geograficzny system informacyjny

(GIS), utrudniają rzetelne szacowanie osiąganego efektu ekologicznego, w tym między innymi redukcji zanieczyszczeń biodegradowalnych wynikających z realizacji KPOŚK. Występujący przez dłuższy czas brak prawidłowego rozumienia pojęcia aglomeracji, nawet przez czynniki je wówczas wyznaczające, powodował nadmierne i nieuzasadnione zwiększenie zasięgów systemów kanalizacji zbiorczej w pewnych przypadkach. Miało to bardzo poważny wpływ na wzrost kosztów w zakresie systemów kanalizacyjnych i utrudniało sfinansowanie KPOŚK, aktualizowanego zgodnie z propozycjami gmin

Oprócz KPOŚK, opracowane zostały projekty dwóch programów uzupełniających, związanych z realizacją dyrektywy ściekowej:

- Program wyposażenia w oczyszczalnie ścieków aglomeracji poniżej 2000 RLM posiadających w dniu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej systemy kanalizacji sanitarnej;
- Program wyposażenia zakładów przemysłu rolno-spożywczego o wielkości RLM równej i powyżej 4000, odprowadzających ścieki bezpośrednio do wód, w urządzenia zapewniające wymagane przez polskie prawo standardy ochrony wód.

Nie podjęto jednak realizacji programów, w pełnym zakresie, wynikających z innych dyrektyw, w tym między innymi programów dla redukcji zanieczyszczeń toksycznych, dla spełnienia parametrów jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Celowym wydaje się przeprowadzenie analizy prawidłowości merytorycznej transpozycji przez Polskę wspólnotowego dorobku prawnego w szczególności ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Transpozycja dorobku prawnego UE w dziedzinie ochrony środowiska do krajowego porządku prawnego i jego wdrożenie zostały bowiem uznane przez Unię Europejską jako priorytet.

## **Piśmiennictwo**

1. Gromiec M.: Droga Polski do Europy w zlewniowej gospodarce wodnej. *Gospodarka Wodna* 59,4,128-137, 1999.
2. Gromiec M.: Polityka wodna Unii Europejskiej w Dyrektywie Ramowej 2000/60/UE i jej implikacje dla Polski. Monografie, Seria Wodociągi i Kanalizacja Nr 2. Wydanie trzecie zmienione. Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierii i Techników Sanitarnych. Warszawa 2002.



## **10. Realizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych**

Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) stanowi instrument programowy w zakresie budowy, rozbudowy i modernizacji systemów kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków komunalnych w Polsce. Celem głównym programu jest wyposażenie aglomeracji w systemy kanalizacji zbiorczej i oczyszczalnie ścieków komunalnych w stosownych terminach, wynikających z negocjacji Polski o członkostwo w Unii Europejskiej i Traktatu Akcesyjnego [1]. W tym przypadku, aglomeracja oznacza teren, na którym zaludnienie lub działalność gospodarcza są wystarczająco skoncentrowane, aby ścieki były zbierane siecią kanalizacyjną i przekazywane do oczyszczalni ścieków komunalnych. Wymogi oczyszczania podane zostały w dyrektywie 92/2712/EWG, zwanej ściekowa, a obowiązek zapewnienia odprowadzania i oczyszczania ścieków komunalnych został nałożony na gminy ustawą o samorządzie gminnym z 1990 roku (Dz.U. Nr 16, poz.74 z późn. zm). Natomiast, w Ustawie Prawo wodne z 2001 roku, zapisano wymagania dyrektywy ściekowej dotyczące obowiązku wyposażenia wszystkich aglomeracji o równoważnej liczbie mieszkańców ( $RLM = 60g \text{ BZT}_5 / M \text{ d}$ ) powyżej 2000 w systemy kanalizacji zbiorczej i oczyszczalnie ścieków.

### **10.1. Charakterystyka programu ściekowego i jego aktualizacji**

Ustawa Prawo wodne z 2001 roku zobowiązała Ministra Środowiska do pracowania i przedłożenia Radzie Ministrów krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych do zatwierdzenia do końca 2003 roku. Podstawy naukowe programu zostały opracowane uprzednio w ramach Projektu Badawczego zamawianego Ministra Środowiska pn. „Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem z punktu widzenia ochrony zdrowia przyrody oraz potrzeb gospodarczych”. Program został oparty o dane przekazane przez gminy i przez wyznaczonych przedstawicieli wojewodów. Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych został zatwierdzony przez Rząd RP w dniu 16 grudnia 2003 roku (KPOŚK 2003) [2], [3].

Pierwsza aktualizacja programu została zatwierdzona przez Radę Ministrów w dniu 7 czerwca 2005 roku (AKPOŚK 2005) [4]. Podstawowe wielkości charakteryzujące program (KPOŚK 2003) i aktualizację (AKPOŚK 2005) przedstawiono w tablicach 10.1 i 10.2. Do prac nad projektem AKPOŚK 2010 została wybrana wersja z podziałem na: aglomeracje priorytetowe dla wypełnienia wymogów traktatowych, jak też aglomeracje nie stanowiące priorytetów dla wypełnienia wymogów traktatowych. Jako aglomeracje priorytetowe dla wypełnienia wymogów traktatowych w KPOŚK 2010 uwzględniono:

- 459 aglomeracji o RLM  $\geq 15\ 000$  (87% ogólnego ładunku zanieczyszczeń biodegradowalnych),
- 198 aglomeracji o RLM  $\geq 10\ 000 < 15\ 000$  (5,5% ogólnego ładunku zanieczyszczeń biodegradowalnych),
- 320 aglomeracji o RLM  $\geq 2\ 000 < 10\ 000$  (w których w 2006 roku co najmniej 2 000 mieszkańców korzystało ze zbiorczych systemów kanalizacyjnych),
- 163 aglomeracji o RLM  $\geq 2\ 000 < 10\ 000$  (w których oczyszczalnie w 2008 roku spełniały wymagane standardy oczyszczania, a ich wydajność nie była mniejsza od 85% ładunkuzanieczyszczeń biodegradowalnych danej aglomeracji, a rozwój aglomeracji zapewni obsługę 50% RLM),

Tablica 10.1. Charakterystyka KPOŚK

Grupa aglomeracji RLM	Liczba aglomeracji	RLM	% RLM
$\geq 100\ 000$	76	21 645 073	52,8
$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	366	13 653 438	33,3
$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	936	5 718 398	13,9
Razem	1378	41 016 909	100,0

Tablica 10. 2. Charakterystyka AKPOŚK 2005

Grupa aglomeracji RLM	Liczba aglomeracji	RLM	% RLM
$\geq 100\ 000$	76	23 402 589	51,2
$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	378	13 479 329	31,5
$\geq 10\ 000 < 15\ 000$	150	1 866 726	4,2
$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	973	5 482 292	13,1
Razem	1577	44 230 936	100,0

Tablica 10.3. Charakterystyka AKPOŚK 2010

Grupa aglomeracji RLM	Liczba aglomeracji	RLM	% RLM
$\geq 100\ 000$	81	24 241 151	53,1
$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	380	14 223 357	31,2
$\geq 10\ 000 < 15\ 000$	197	2 406 313	5,3
$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	980	4 687 135	10,3
Razem	1638	45 557 956	100,0

- 16 aglomeracji o  $RLM > 2\ 000$  RLM (w których systemy kanalizacyjne w 2006 roku obsługiwały co najmniej 80% RLM),
- 157 aglomeracji o  $RLM \geq 2\ 000 < 10\ 000$  (o wskaźniku koncentracji nie mniejszym niż 120 MK/km).

Jako aglomeracje nie stanowiące priorytetu traktatowego przyjęto:

- 322 aglomeracje, w tym 124 aglomeracje nowo wyznaczone (aglomeracje te stanowią 3% całkowitego ładunku RLM).

Pozostałe aglomeracje, które nie zostały włączone do zakresu rzeczowego, ani w koszty realizacji KPOŚK 2010, to:

- 104 aglomeracje, w tym 94 aglomeracje utworzone po lutym 2008 roku (aglomeracje ustanowione przed lutym 2008 roku, które nie przesłały terminowo informacji, jak też aglomeracje ustanowione po tym terminie).

Druga aktualizacja programu została zrealizowana w 2009 roku i przyjęta przez Radę Ministrów w dniu 2 marca 2010 roku (KPOŚK 2009) [5]. Trzecia aktualizacja (AKPOŚK 2010) została zatwierdzona przez Radę Ministrów w dniu 1 lutego 2011 roku. Charakterystykę aglomeracji w AKPOŚK 2010 podano w tablicy 10.3, a długość sieci kanalizacyjnej w tablicy 10.4. W dalszych pracach nad programem uznano, że dostępne środki finansowe powinny być kierowane w pierwszej kolejności na realizację inwestycji wodno-ściekowych w aglomeracjach priorytetowych.

## **10.2. Koszty i analiza aktualizacji programu ściekowego (AKPOŚK 2010)**

Wydaje się, że odpowiednią do przeprowadzenia okresowej analizy stanowi realizacja programu w stosunku do trzeciej aktualizacji. Całkowite koszty realizacji AKPOŚK 2010 zostały oszacowane na kwotę 62,207 mld PLN. Ponieważ w latach 2003-2006 wydatkowano 11,107 mld PLN, stanowi to łączną kwotę w wysokości 73,314 mld PLN. Porównując powyższą kwotę KPOŚK 2010 z nakładami KPOŚK 2003, był to wzrost dwukrotny. Biorąc pod uwagę wzrost ładunków zanieczyszczeń biodegradowalnych z 41 mln RLM do 45,5 mln RLM (wzrost o 9%), to koszt jednostkowy usunięcia ładunku zanieczyszczeń biodegradowalnych wzrósł z 883 PLN/MK do 1 608 PLN/MK. Wzrost całkowitego kosztu realizacji programu związany był głównie z dwukrotnym wzrostem kosztów kanalizacyjnych, (z 24,088 mld PLN do 48,518 mld PLN). Wzrost kosztów budowy oczyszczalni ścieków (z 11,292 mld PLN do 12,339 mld PLN) nie budził większych zastrzeżeń i był uzasadniony wzrostem realizacji poszczególnych obiektów.

Nakłady inwestycyjne na aglomeracje spełniające i nie spełniające priorytet (w okresie 2007-2015) według AKPOŚK 2010 przedstawiono w tablicy 10.5. Zwracają uwagę bardzo niskie nakłady na zagospodarowanie osadów ściekowych.

Koszty inwestycyjne zagospodarowania osadów komunalnych na koniec 2015 roku zostały oszacowane na wysokości 1 352 mln PLN, w tym koszty zagospodarowania osadów ze 120 oczyszczalni w aglomeracjach  $\geq 100\ 000$  RLM w wysokości około 625 mln PLN. Zakres rzeczowy KPOŚK 2010 obejmował:

- w aglomeracjach priorytetowych planowano wybudowanie 30 641 km oraz zmodernizowanie 2 883 km sieci kanalizacyjnej,
- w aglomeracjach nie stanowiących projektu planowano realizację 11 663 km oraz zmodernizowanie 72 km sieci kanalizacyjnej,

Planowano wówczas, że ładunek zanieczyszczeń biodegradowalnych, pochodzący z 1 313 aglomeracji  $\geq 2\ 000$  RLM, wysokości 44 161 891 RLM będzie usunięty w 1 465 oczyszczalniach ścieków. Nakłady finansowe na realizację zadań priorytetowych oszacowano na kwotę 31,9 mld PLN, w tym na: systemy kanalizacyjne – 19,2 mld PLN, oczyszczanie ścieków – 11,4 mld PLN, zagospodarowanie osadów – 1,3 mld PLN.

Tablica 10 4. Długość sieci kanalizacyjnej w km według AKPOŚK 2010

Grupa aglomeracji RLM	2006	2007 – 2015	
	istniejąca	budowa	modernizacja
stanowiące priorytet			
$\geq 100\ 000$	27 081	4 627	1 498
$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	27 065	11 005	969
$\geq 10\ 000 < 15\ 000$	7 024	6 323	165
$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	14 297	8 686	252
Razem	75 466	45 557 956	2883
<b>nie stanowiące priorytet</b>			
$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	2 722	1 360 434	72,00
Razem	78 088	42 304	2955

Analiza danych AKPOŚK 2010 wskazuje, że zakres rzeczowy aktualizacji programu przekraczał możliwości realizacyjne do 2015 roku. Główną przyczyną tej sytuacji stanowiły programy zbiorczych systemów kanalizacyjnych. Wyznaczone granice aglomeracji obejmowały również kanalizowanie terenów o zabudowie bardzo rozproszonej. Budzi to wątpliwości co do prawidłowości wyznaczania granic aglomeracji w Polsce według obowiązujących przepisów prawnych. Ze względu na wysokie koszty budowy kanalizacji zbiorczych, na terenach o zabudowie rozproszonej winny być stosowane systemy indywidualne, przy czym ich realizacja wymagała odpowiedniego uzasadnienia.

Tablica 10. 5. Nakłady inwestycyjne na aglomeracje spełniające i nie spełniające priorytet na lata 2007–2015 według KPOSK 2010

<b>Grupa aglomeracji RLM</b>	<b>sieci kanalizacyjne</b>	<b>oczyszczalnie ścieków</b>	<b>zagospodarowanie osadów ściekowych</b>
stanowiące priorytet			
≥ 100 000	5 142 463,7	6 100 197,5	624 849,5
≥ 15 000 < 100 000	6 746 942,8	2 920 960,0	531 591,5
≥ 10 000 < 15 000	3 154 707,7	922 405,3	58 809,4
≥ 2 000 < 10 000	4 121 811,0	1 415 591,4	97 634,7
<b>Razem</b>	<b>19 165 918</b>	<b>11 359 155,4</b>	<b>1312886,1</b>
nie stanowiące priorytet			
≥ 2 000 < 10 000	4 506 658,5	1 042 860	39529,6
<b>Razem</b>	<b>23 697 577</b>	<b>12 399 514</b>	<b>1 352 314,7</b>

Podsumowując, można stwierdzić, że realizacja AKPOŚK 2010 w aglomeracjach spełniających priorytet traktatowy zakładała: budowę 30 641 km sieci kanalizacyjnej, modernizację 2 883 km sieci kanalizacyjnej, modernizację lub rozbudowę 569 oczyszczalni ścieków. Powyższe miało zapewnić, do końca 2015 roku obsługę 28,7 mln mieszkańców systemami kanalizacji i oczyszczalni ścieków. Zakładany stopień obsługi poszczególnych grup aglomeracji przez systemy kanalizacyjne przedstawiono w tablicy 10.7.

Tablica 10.6. Obsługa kanalizacji przez systemy kanalizacyjne według AKPOŚK 2010

<b>Grupa aglomeracji RLM</b>	<b>Stopień obsługi aglomeracji przez system kanalizacyjny</b>	
	<b>w 2006,% RLM</b>	<b>w 2015,% RLM</b>
≥ 100 000	91,4	96,4
≥ 15 000 < 100 000	80,2	93,1
≥ 10 000 < 15 000	52,1	84,0
≥ 2 000 < 10 000	53,7	82,8
<b>Średnia</b>	<b>83</b>	<b>93,6</b>

### 10.3. Następne aktualizacje programu ściekowego

Następne aktualizacje programu zostały wprowadzone w kolejnych latach jako: aktualizacja czwarta – AKPOŚK 2015 oraz aktualizacja piąta – AKPOŚK 2017.

POŚK 2003 został opracowany przy założeniu, że wdrażanie postanowień dyrektywy ściekowej odbywa się na podstawie art.5.4, tj. nastąpi 75% redukcji biogenów w stosunku do ogólnego ładunku zanieczyszczeń. Komisja Europejska (KE) wówczas nie kwestionowała tego podejścia, aż do 2011 roku, mimo wieloletniej sprawozdawczości z realizowanego programu. Powołując się na błędną interpretację Traktatu Akcesyjnego, KE uznała, że Polska winna wdrażać postanowienia dyrektywy ściekowej według art.5.2., co oznaczało konieczność wprowadzenia podwyższonego usuwania biogenów w oczyszczalniach ścieków komunalnych powyżej 10 000 RLM. AKPOŚK 2017 zawiera wykaz aglomeracji oraz planowanych inwestycji w zakresie wyposażenia w systemy kanalizacji zbiorczej oraz oczyszczalni ścieków w latach 2016-2021. Obecna transpozycja wymogów dyrektywy ściekowej do prawodawstwa krajowego spełnia obecnie wymagania art.5.2. Spełnienie wymagań w 2016 roku i prognozę na 2021 rok przedstawiono w Tablicy 10.7. Przygotowywana jest szósta aktualizacja programu

Tablica 10.7. Wypełnienie wymagań dyrektywy ściekowej w prognozie na 2021

Grupa aglomeracji RLM	Liczba aglomeracji	RLM	RLM po realizacji w 2021
≥ 100 000	73	19 934 303	19 669 960
≥ 15 000 < 100 000	347	12 414 812	12 047 114
≥ 10 000 < 15 000	136	1 655 074	1 560 520
≥ 2 000 < 10 000	1031	4 788 840	4 497 093
Razem	1587	39 100 858	37 774 689

### 10.4. Podsumowanie

W Traktacie Akcesyjnym (załącznik XII) stwierdzono, że nie stosuje się w pełni, w Polsce do dnia 31 grudnia 2015 wymogów dotyczących systemów zbierania oraz oczyszczania ścieków komunalnych. Tym samym, do pełnej realizacji dyrektywy ściekowej (91/271/EWG) Polska miała czas do dnia 31 grudnia 2015 roku. W negocjacjach przed akcesją przyjęto, że cały obszar Polski stanowi tzw. *obszar wrażliwy*, z uwagi na jego położenie w 99,7% w zlewisku Morza Bałtyckiego. Oznacza to, do dnia 31 grudnia 2015 roku powinna być zapewniona

redukcja związków biogenych, pochodzących ze źródeł komunalnych na terenie naszego kraju i odprowadzanych do wód. Równocześnie, w powyższym terminie, wszystkie aglomeracje  $\geq 2\ 000$  RLM (równoważna liczba mieszkańców) miały być wyposażone w systemy kanalizacji zbiorczej i oczyszczalnie ścieków. Efekt oczyszczania uzależniony był od wielkości oczyszczalni zgodnie z ówczesnymi rozporządzeniami Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku (Dz.U. Nr 137, poz. 984 oraz z 2009 r. Nr 27, poz. 169). Dodatkowo, w powyższym terminie, aglomeracje  $< 2000$  RLM, wyposażone w dniu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej w systemy kanalizacyjne, powinny posiadać oczyszczalnie zapewniające tzw. *odpowiednie oczyszczenie*. Zobowiązania traktatowe obejmowały również zakłady przemysłu rolno-spożywczego o wielkości  $> 4000$  RLM, które były zobowiązane do redukcji zanieczyszczeń biodegradowalnych do dnia 31 grudnia 2010 roku. W zakresie KPOŚK powstał informator, na zamówienie Ministra Środowiska, w 2004 roku [8] i poradnik w 2010 roku [9].

Należy podkreślić, że w wyniku realizacji programu w kraju następuje znaczny postęp w ograniczaniu ilości ładunków zanieczyszczeń wprowadzonych do wód, uzyskany dużym wysiłkiem branży wodociągowo-kanalizacyjnej. O postępie w oczyszczaniu ścieków komunalnych w Polsce, najlepiej świadczy wzrost liczby mieszkańców obsługiwanych przez oczyszczalnie ścieków, a szczególnie przez oczyszczalnie usuwające substancje biogenne. Podstawową rolę w tym względzie odgrywała modernizacja, rozbudowa oraz budowa oczyszczalni ścieków w dużych aglomeracjach, których centralny element stanowiły duże miasta. Szereg miast zgłaszało pewne opóźnienia realizacyjne, z różnych przyczyn. Pełną ocenę realizacji programu można będzie przedstawić dopiero po jego zakończeniu.

## Piśmiennictwo

1. Traktat Akcesyjny – Aneks XII do traktatu Akcesyjnego Republiki Czeskiej, Estonii, Cypru, Litwy, Węgier, Malty, Polski, Słowenii i Słowacji do Unii Europejskiej.
2. Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2003.
3. Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2005.
4. Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Ministerstwo Środowiska / Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej. Warszawa 2009.
5. Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Ministerstwo Środowiska / Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej. Warszawa 2010.
6. Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Ministerstwo Środowiska / Krajowy Zarząd gospodarki Wodnej. Warszawa 2016.
7. Krajowy Program Oczyszczania Ścieków – Informator, wykonany na zamówienie Ministra Środowisk. Opracował zespół pod kierunkiem M.J. Gromca, w składzie:



- P. Błaszczyk, L. Gutowska-Siwiec, H. Kłoss-Trębaczkiwicz, E. Osuch-Pajdzińska, Ryszard Wende, Krzysztof Witowski. Wyd. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Zakład Gospodarki Wodnej. Warszawa 2004.
8. Poradnik dotyczący gospodarki ściekowej w kontekście Wykonania Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Opracował zespół w składzie: M. Górski, M. Gromiec, T. Jodłowski, A. Królikowski, J. Łomotowski, B. Podskrobko. KZGW – Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej. Warszawa 2010.

## 11. Polityka wodna i strategię ochrony wód

W rozdziale przedstawiono podstawy polityki Unii Europejskiej w ramach Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW), w tym cele, procedurę i postanowienia dotyczące strategii ochrony zasobów wodnych. Na tym tle przedstawiono podstawy naukowe krajowej strategii ochrony wód oraz ważniejsze elementy krajowej strategii ogólnej w tym względzie, opracowane w projekcie badawczym, kierowanym przez autora, zamówionym w Komitecie Badań Naukowych przez Ministra Środowiska, jeszcze przed wyjściem w życie RDW.

### 11.1. Cele ochrony wód

Celem głównym polityki wodnej w Unii Europejskiej, według RDW, jest zapewnienie ochrony wód w państwach członkowskich Unii Europejskiej poprzez: zapobieganie dalszej degradacji wód, ochronę wód przed zanieczyszczeniem, poprawę stanu ekosystemów wodnych i ekosystemów lądowych w stosunku do potrzeb wodnych i promocję zrównoważonego wykorzystania zasobów wodnych. Osiągnięcie celu głównego ochrony wód, według RDW, następuje poprzez realizację celów cząstkowych:

- oparcie gospodarowania zasobami wodnymi na zlewniach rzek,
- spełnienie założonych celów środowiskowych w określonych terminach,
- objęcie prawną ochroną wód wszystkich rodzajów wód: powierzchniowych (śródlądowych i morskich) oraz podziemnych,
- uwzględnienie ilości wód,
- ustanowienie procedury ochrony zasobów wodnych w dorzeczach/zlewniach,
- przyjęcie strategii dla ochrony wód przed zanieczyszczeniem,
- ustanowienie podstaw ekonomicznych gospodarki wodnej,
- włączenie się całego społeczeństwa w ochronę wód.

Gospodarowanie zasobami wodnymi opiera się na dorzeczach (zlewniach), zidentyfikowanych przez państwa członkowskie UE, które winny wyznaczyć organy do koordynowania i nadzoru. Cele środowiskowe związane są głównie z: zapobieganiem zanieczyszczenia wód i pogarszani się ich jakości oraz odnowy zanieczyszczonych wód w celu uzyskania odpowiedniego ich stanu w określonym terminie. Dobrą jakość wód powierzchniowych i podziemnych w UE planowano optymistycznie osiągnąć przynajmniej po 15 latach od daty wejścia RDW w życie (tj. 22 grudnia 2015 roku).

Prawną ochroną wód objęto wody powierzchniowe (słodkie i estuaria), wody morskie przybrzeżne i terytorialne, jak i wody podziemne. Przyjęto, że RDW, po jej implementacji ma przyczynić się do zabezpieczenia zaopatrzenia w wodę

w ilości i o jakości potrzebnej do zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi. Tym samym, po raz pierwszy w unijnym prawodawstwie wodnym odniesiono się do zagadnienia ilości wody, co było związane z narastającą presją dotyczącą wzrostu zapotrzebowania na wodę dobrej jakości w państwach członkowskich UE. Ustanowiono w tym celu określoną procedurę dla ochrony zasobów wodnych w dorzeczach/zlewniach.

## **11.2. Procedura ochrony zasobów wodnych**

Określona procedura rozpoczyna się od identyfikacji obszarów dorzeczy (zlewni) dla których należy wykonać analizy obejmujące charakterystyki: geograficzne, hydrograficzne, demograficzne, wykorzystania powierzchni ziemi oraz działalności gospodarczej. Przegląd wpływu działalności ludzkiej na stan wód powierzchniowych i podziemnych winien obejmować:

- oszacowanie wielkości zanieczyszczeń punktowych,
- oszacowanie wielkości oszacowanie wielkości ujmowanej wody,
- oszacowanie wielkości zanieczyszczeń obszarowych,
- przeprowadzenie analizy ekonomicznej wykorzystania wody dorzecza/zlewni).

Należy również zidentyfikować wody z których ujmowana jest woda do picia lub będą wykorzystywane w przyszłości jako źródła poboru tej wody, jak też opracować rejestr obszarów chronionych. Ogólnie wyróżnia się następujące obszary chronione:

- obszary przeznaczone dla ujmowania wody do ludzkiej konsumpcji,
- obszary przeznaczone do ochrony gatunków ptaków wodnych o znaczenie ekonomicznym,
- obszary zasobów wodnych przeznaczonych do celów rekreacyjnych (włączając obszary przeznaczone do kąpieli, zgodnie z dyrektywą o wodach do kąpieli-76/160/EWG),
- obszary wrażliwe na substancje biogenne (obejmujące obszary wrażliwe określone jako strefy podatne zgodnie dyrektywą o azotanach – 91/676/EWG oraz tereny określone jako wrażliwe zgodnie z dyrektywą o oczyszczaniu ścieków z terenów zurbanizowanych),
- obszary przeznaczone do ochrony środowiska ożywionego lub gatunków, gdzie utrzymanie lub polepszenie stanu wody jest ważnym czynnikiem w ich ochronie, obejmujące odpowiednie miejsca, wyznaczone zgodnie z dyrektywą o środowisku ożywionym i dyrektywą o ptakach – 76/409/EWG.

Do wykonania przeglądu stanu wód ustanowione winny być ustanowione programy monitorowania: wód powierzchniowych w zakresie stanu ekologicznego i chemicznego oraz wód podziemnych w zakresie stanu ilościowego i stanu chemicznego.

Tym samym, zmierza się w kierunku spójnego systemu monitoringu, którego wyniki winny być wykorzystane przy opracowaniu planów zlewniowych i programów działań oraz do sprawdzenia skuteczności podjętych działań. Programy działań, do realizacji celów środowiskowych winny obejmować działania podstawowe, będące obligatoryjnymi składnikami programów, jak też działania dodatkowe, tam, gdzie będą one konieczne. Powyższe programy działań winny stanowić część składową planów zlewniowych. Dodatkowo winny być podjęte działania zapobiegające zanieczyszczeniom awaryjnym.

### 11.3. Postanowienia i strategie ochrony wód

Parlament Europejski i Rada mogą przyjmować strategie ochrony wód przed zanieczyszczeniami, to jest przyjmować działania dla poszczególnych zanieczyszczeń lub grup zanieczyszczeń, natomiast Komisja Europejska przedkłada projekty list priorytetowych substancji niebezpiecznych.

W dyrektywie ramowej przyjęto tzw. *podejście połączone* w ochronie zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem: ograniczające zanieczyszczenia u źródła ich powstawania przez ustalenie norm jakości zrzucanych ścieków (wartości granicznych emisji) oraz ustanawiające normy (stany) jakości zasobów wodnych. Założono, że w każdym przypadku ma obowiązywać rozwiązanie, które jest ostrzejsze. Dlatego programy działań winny być opracowane dla wartości granicznych, kontrolujących emisje ze źródeł punktowych, oraz dla standardów jakości środowiska wodnego, aby ograniczyć łączny wpływ emisji ze źródeł punktowych i zanieczyszczeń obszarowych.

Szczególnej ochronie winny być poddane zasoby wodne przeznaczone do wykorzystania w postaci wody do picia. Dlatego powinny być przyjęte standardy jakości środowiska wodnego dla wód służących do poboru wody przeznaczonej do picia obecnie, lub w przyszłości. Standardy jakości środowiska wodnego będą musiały być tak zaprojektowane, aby zapewnić, że po zastosowaniu technologii uzdatniania woda spełni wymagania dla wody do picia UE.

Ustanowienie podstaw ekonomicznych gospodarki wodnej jest niezwykle ważnym zadaniem. W praktyce oznacza to uwzględnienie zasady zwrotu kosztów usług wodnych, w tym kosztów ekologicznych i zasobowych. Ważnym jest również zapewnienie przyłączenia się całego społeczeństwa do apelu o czystą wodę. W tym względzie, dyrektywa ramowa zakłada dostęp do informacji oraz znaczenie konsultacji społecznych.

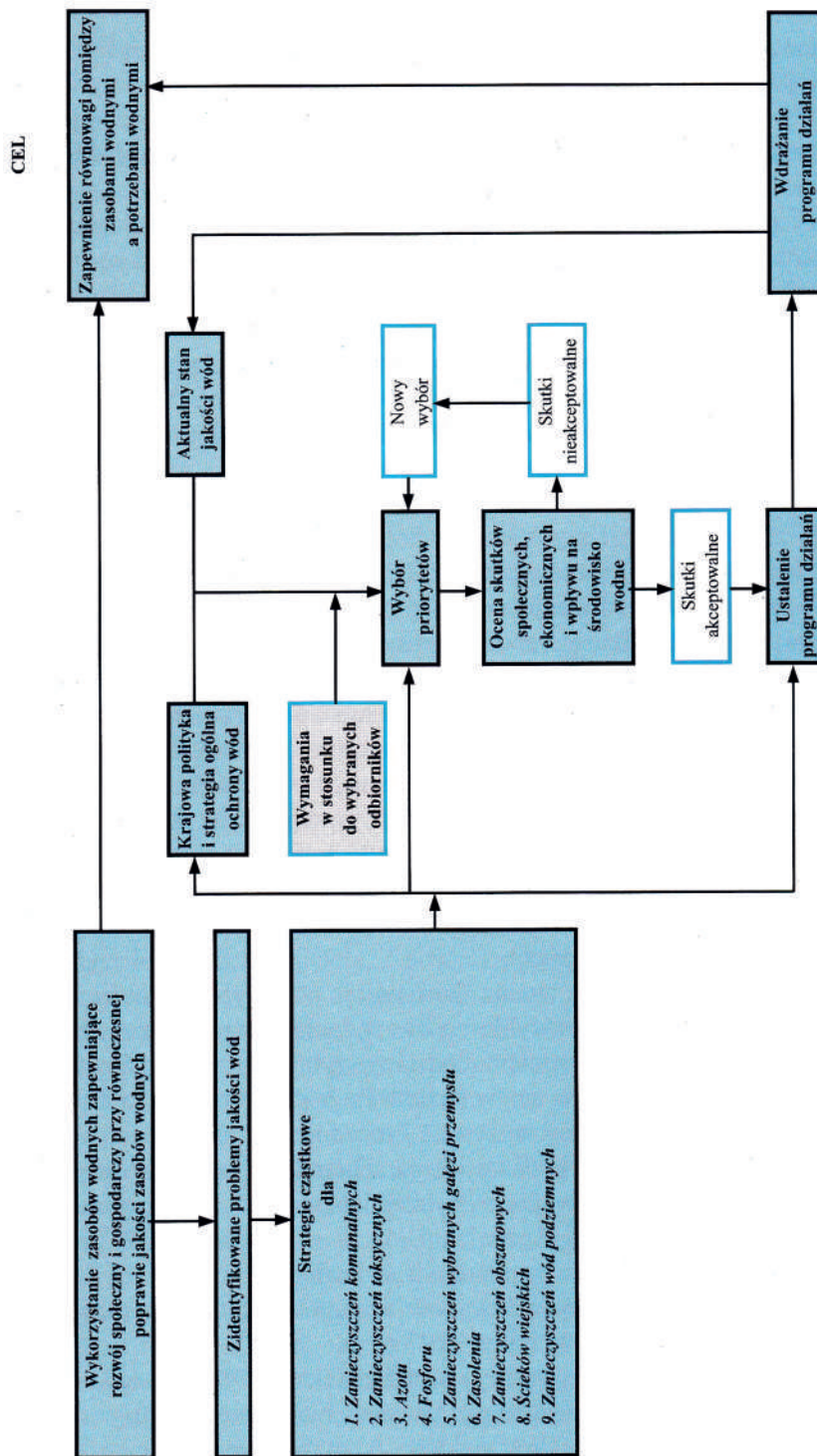
## 11.4. Podstawy naukowe krajowej strategii ochrony wód

Przedstawione poniżej podstawy wyboru strategii ogólnej ochrony wód, uwzględniającej strategię cząstkowe, zostały opracowane w ramach projektu zamówionego przez Ministra Środowiska w Komitecie Badań Naukowych (PBZ 28–02) pt. „**Podstawy naukowe strategii ochrony krajowych zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem z punktu widzenia ochrony zdrowia i przyrody oraz potrzeb gospodarczych**” (patrz rozdział 7).

Podkreślić należy, że powyższy projekt realizowany był przed wejściem w życie RDW. Badania i raporty z poszczególnych zadań programu opracowano w okresie 1994 – 1996 roku [1-14], a raport końcowy z projektu na początku 1997 roku [15]. Program został przedstawiony w 1998 roku na konferencji krajowej pod patronatem Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (MOŚZNiL) [16].

Podstawę wyboru strategii przedstawiono na schemacie (rys. 11.1). Punktem wyjścia do wyboru krajowej polityki i strategii ogólnej ochrony wód stanowiła proekologiczna polityka i strategia państwa w zakresie gospodarki wodnej. Polityka ta, oparta o zrównoważone wykorzystanie zasobów wodnych kraju, miała zapewnić rozwój społeczny i gospodarczy, przy równoczesnej poprawie jakości zasobów wodnych. Przyjęto w niej, że głównym celem w zakresie gospodarki wodnej winno być zapewnienie równowagi pomiędzy zasobami wodnymi a potrzebami wodnymi, przy podanych poniżej założeniach:

- Proekologiczna polityka i strategia państwa w zakresie gospodarki wodnej winna odnosić się do zidentyfikowanych, kluczowych problemów jakości wód kraju, dla których powinny istnieć strategię cząstkowe ochrony wód, uzupełniane w miarę pojawiania się nowych problemów. Powyższe strategię cząstkowe winny łączyć się w zintegrowaną politykę i strategię ogólną ochrony wód, odniesioną do aktualnego stanu jakości zasobów wodnych.
- Stan jakości zasobów wodnych odzwierciedla stan rozwoju społecznego i gospodarczego kraju. Dlatego podstawą rozwoju gospodarczego kraju winna być strategia ekorozwoju (rozwoju zrównoważonego), zapewniająca równoczesne istnienie środowiska wodnego, bezpiecznego dla zdrowia ludzi i przyrody, oraz umożliwiająca dalszy rozwój społeczny i gospodarczy. Podstawą tej polityki winno być złożenie na sprawcę odpowiedzialności za skutki zanieczyszczenia środowiska wodnego.
- Zintegrowana krajowa polityka i strategia ochrony wód przed zanieczyszczeniem winna mieć na celu przede wszystkim zapobieganie zanieczyszczeniu wód oraz przywracanie odpowiedniej jakości wody wybranych odbiorników, ze szczególnym uwzględnieniem istotnych źródeł poboru wody do picia.



Rys. 11.1. Podstawa wyboru ogólnej strategii ochrony krajowych zasobów wodnych [16]

Towarzyszyć temu winno racjonalne wykorzystanie wody i gospodarowanie zasobami wodnymi w dorzeczach i zlewniach rzek.

Powyższe przesądziło o konieczności oparcia krajowej polityki i strategii ogólnej ochrony wód o systemy dorzeczy/zlewni, co pozwalało na zwiększenie skuteczności ochrony przed żywołem wodnym. Zlewniowe systemy gospodarowania wodą i ochrony wód umożliwiają bowiem sformułowanie konkretnych wymagań w stosunku do wybranych odbiorników i obszarów dorzeczy/zlewni.

### **11.5. Ważniejsze elementy krajowej strategii ogólnej ochrony wód**

Zapewnienie wymagań w stosunku do wybranych odbiorników i obszarów dorzeczy/zlewni jest ściśle związane z wyborem priorytetów oraz oceną skutków społecznych i ekonomicznych oraz wpływu zanieczyszczeń wywieranego na środowisko wodne w danej zlewni. Stwarza to konieczność opracowywania zlewniowych planów ochrony wód wraz z programami niezbędnych przedsięwzięć. Wdrażanie ustalonych programów działań winno być weryfikowane w odniesieniu do zachodzących zmian w stanie jakości wód, czemu służyć winien monitoring wód prowadzony w dorzeczach/zlewniach. Podstawą zrealizowania celu osiągnięcia dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych miało być zintegrowane gospodarowanie ilością i jakością wód w dorzeczach/zlewniach, przy czym priorytetowe znaczenie winny uzyskiwać wody wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę do picia. Istotnym elementem zlewniowej gospodarki wodnej jest ochrona wód oparta o zasadę „zanieczyszczający płaci” oraz o opłaty za korzystanie z wód w wysokości pełnych kosztów ekonomicznych. O ile zasada „zanieczyszczający płaci” stanowi trwały element polityki ekologicznej państwa, to wprowadzenie od razu zasady wnoszenia opłat za korzystanie z wód przez użytkownika w wysokości pełnego kosztu ekonomicznego nie wydaje się obecnie możliwe, ale winno być celem długoterminowym. Podstawa strategii została opracowana w ramach powyższego projektu, co zostało przedstawione uprzednio na schemacie (rys. 11.1), również w stosunku do strategii cząstkowych.

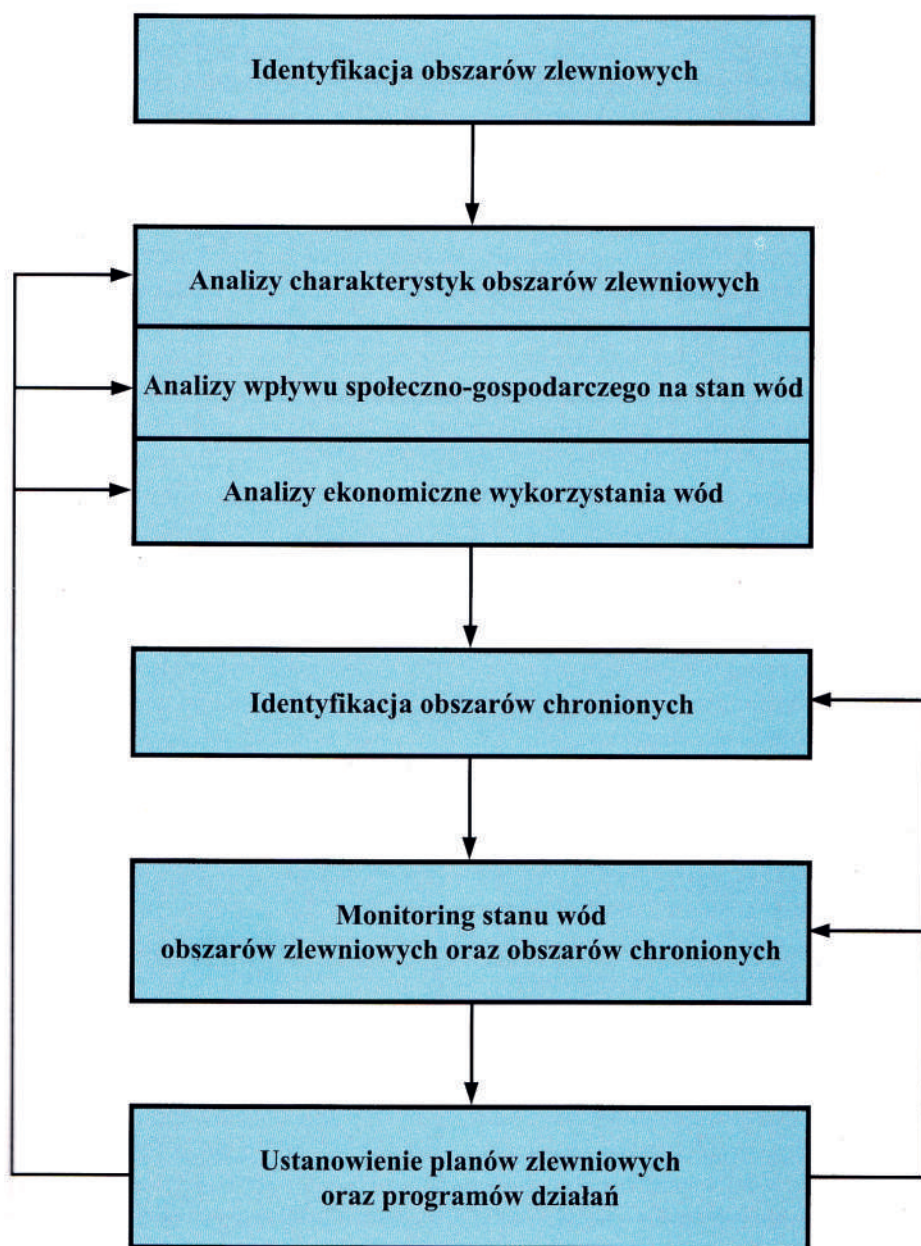
Równocześnie postulowano powtórne przeanalizowanie obecnego podziału kraju na obszary dorzeczy/zlewni. Wstępna analiza, przeprowadzona wówczas, tylko z punktu widzenia ochrony zasobów wodnych kraju, wykazała, że postulowanym rozwiązaniem może być podział na obszary Wisły, Odry i rzek Przymorza z wydzieleniem obszarów Warty i Narwi (wraz z Bugiem). Uznano, że rozbudowana sprawozdawczość UE może stanowić dodatkową przesłankę do ograniczenia ilości przyjętych ostatecznie obszarów zlewniowych w Polsce. Uznano też, że celowym jest też wyodrębnienie w ramach obszarów zlewniowych w Polsce, różnych typów obszarów chronionych. Szczególnie wyodrębnienie w kraju



obszarów podatnych na eutrofizację wód, było niezwykle istotne z punktu widzenia realizacji dyrektywy o oczyszczaniu ścieków z terenów zurbanizowanych. Należy dodać, że w Europie istniały różne podejście do tego zagadnienia. Decyzja w tym zakresie niosła za sobą poważne konsekwencje ekonomiczne, a co za tym idzie winna być wnikliwie rozważana. Przyjęcie całego terytorium Polski za obszar podatny na eutrofizację wydawało się być przedwczesne, dość drogie w realizacji i często nieuzasadnione w stosunku do skutków ekologicznych dla wybranych odbiorników, jak i pod względem ekonomicznym. Uznano dlatego, że podjęta decyzja winna na początku obejmować tylko wybrane obszary chronione. Zasugerowano, że przyjętym pierwszym obszarem chronionym w Polsce z punktu widzenia wrażliwości na substancje biogenne może być obszar Wielkich Jezior Mazurskich. Obszary chronione to również obszary wymagające specjalnej ochrony dla zachowania środowiska ożywionego lub gatunków. Istotnym dlatego było również podjęcie decyzji o identyfikacji krajowych obszarów chronionych z punktu widzenia ochrony przyrody i środowiska ożywionego związanego z wodą. Odbiorniki wykorzystywane do poboru wody dla konsumpcji dla człowieka winny być desygnowane również jako obszary chronione, ze względu na ochronę zdrowia ludzi. Standardy jakościowe dla tych odbiorników powinny zapewnić, że po założonym reżimie uzdatniania wody, uzyskana woda spełni wymagania dotyczące wody do picia. Podobnie dotyczyło to obszarów wodnych rekreacyjnych i spełnienia standardów dyrektywy o wodach dla kąpiele.

Monitoring wód powierzchniowych i wód podziemnych winien być realizowany na przyjętych obszarach dorzeczy/zlewni, z uwzględnieniem wymagań związanych z obszarami chronionymi. Należy dążyć do włączenia monitoringu krajowego do europejskiej sieci monitoringu wód. Wyniki monitoringu obszarów zlewniowych winny być wykorzystane przy opracowywaniu planów i programów gospodarki wodnej i ochrony wód dorzeczy, a następnie przy sprawdzaniu skuteczności podjętych działań i ewentualnej weryfikacji programów samego monitoringu.

Zaproponowana procedura dla zlewniowej ochrony krajowych zasobów wodnych podana jest na schemacie (rys. 11.2). Procedura ta dotyczy zintegrowanej zlewniowej ochrony wód śródlądowych obejmujących wody powierzchniowe i wody podziemne oraz integrującej zagadnienia ilościowe i jakościowe. Założono, że przy opracowywaniu planów gospodarowania wodą na przyjętych obszarach dorzeczy/zlewni, szczególnie istotne będą zagadnienia dotyczące zmniejszenia emisji zanieczyszczeń, w tym oczyszczania zanieczyszczeń punktowych w budowanych lub rozbudowywanych oczyszczalniach oraz zmniejszenia zanieczyszczeń obszarowych. Prowadzić to będzie do konieczności opracowywania zlewniowych planów ochrony wód w ramach zlewniowych planów gospodarowania wodą.



Rys. 11.2. Procedura dla zlewniowej ochrony krajowych zasobów wodnych [16]

W procesie hierarchizacji zadań w planach ochrony wód na szczególną uwagę zasługiwało kryterium społeczne, bowiem założono, że tylko aktywne uczestnictwo użytkowników i społeczeństwa oraz jego pozytywny stosunek do zadań ekologicznych może dać efektywny reżim kształtowania środowiska wodnego, który maksymalizuje uzyskane wyniki, przy dość ograniczonych wówczas zasobach finansowych. Podstawowe przyczyny występujących problemów jakości zasobów wodnych związane są bowiem nie tylko ze sposobami działalności gospodarki (komunalnej, przemysłowej, energetycznej, transportowej, rolnej itp.) i planami rozwoju społecznego i gospodarczego państwa, ale również ze sposobami życia i konsumpcji ludzi. Nakładają się na to problemy związane ze stosunkowo małą wielkością środków inwestycyjnych przeznaczanych na ochronę wód i z efektywnością ich wykorzystania.

Uznano, że wybór kolejności realizacji budowy (lub rozbudowy) oczyszczalni ścieków stanowić będzie jeden z ważniejszych elementów zlewniowych planów ochrony wód. Wybór powyższy może być dokonany zarówno przy zastosowaniu złożonych modeli matematycznych jakości zasobów wodnych jak i metod przybliżonych uwzględniających kryteria dotyczące jakości wód odbiornika, ładunku zanieczyszczeń w zrzucanych ściekach i możliwości realizacyjnych budowy oczyszczalni. W obu przypadkach ostateczna decyzja wyboru kolejności realizacji budowy (lub rozbudowy) oczyszczalni będzie mogła równocześnie uwzględniać inne czynniki, bowiem stateczna decyzja wyboru kolejności przedsięwzięć ochrony wód w danej zlewni winna uwzględnić aspekty społeczne i ekorozwoju tej zlewni.

Opracowywanie planów ochrony wód przed zanieczyszczeniem w ramach zlewniowych planów gospodarowania wodą może wymagać stosowania odpowiednich narzędzi w postaci modeli matematycznych, które w zależności od celu zastosowania mogą występować jako:

- modele symulacyjne procesów kształtujących jakość wody, głównie modelujące procesy naturalne związane z rozprzestrzenianiem i transformacją zanieczyszczeń w ekosystemach wodnych, konstruowane dla oceny aktualnego stanu jakości wód oraz dla celów prognostycznych;
- modele decyzyjne dla celów sterowania istniejącymi urządzeniami wodno-ściekowymi na danym obszarze zlewniowym;
- modele decyzyjne jakości wód dla celów optymalizacji przedsięwzięć ochrony wód oraz modele decyzyjne dla zaopatrzenia w wodę.

Na świecie nastąpił dynamiczny rozwój modelowania w ochronie wód idący w kierunku opracowywania skomputeryzowanych modeli matematycznych umożliwiających ich szybkie zastosowanie. do symulacji obecnego stanu jakości wody w wybranych odbiornikach wodnych, jak również do prognozowania wpływu działań wynikających z różnych przedsięwzięć ograniczających zrzuty punktowe

na jakość wody odbiornika powyżej zrzutu ścieków. Wyniki przeprowadzonych symulacji wykazywały jednoznacznie na poprawę jakości wody przy przyjęciu wymaganych przepisami stężeń zanieczyszczeń w ściekach, lecz nie wystarczyło to do osiągnięcia założonego stanu czystości wód rzeki. Prognozy wynikające z komputerowej symulacji jakości wody wykazywały, że zrealizowanie zaprojektowanej rozbudowy oczyszczalni ścieków nie zagwarantuje wymaganego stanu czystości wód przy występującym średnim przepływie wody w tych odbiornikach. Stwierdzono, że ograniczenie się wyłącznie do norm technologicznych na dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń w ściekach nie zawsze prowadzi do pożądanego stanu jakości wody w danym odbiorniku.

Wskazano również, że w ogólnej strategii ochrony wód przed zanieczyszczeniem jednym z ważniejszych elementów jest strategia efektywności inwestowania w budowę lub rozbudowę oczyszczalni ścieków oraz założenia prawne przyjęte dla jej realizacji w praktyce. Przyjęcie założenia, w przepisach prawnych dla ochrony wód, że wystarczą tylko normy jakości wód odbiorników, całkowicie nie sprawdziło się w przeszłości i między innymi przyczyniło się do złego stanu jakości wód krajowych. Występujące unormowania prawne, w ówczesnie istniejących krajowych przepisach, związane tylko z normami jakości zrzucanych ścieków, mimo zdecydowanego zwiększania skuteczności ochrony wód, nie w każdym przypadku mogły przynieść założony efekt.

Dlatego celowym było ściśle połączenie ze sobą powyżej podanych założeń. Składnikami strategii ogólnej, związanej z efektywnością inwestowania w ochronę wód, winny być połączone normy jakości wód i normy jakości ścieków odprowadzanych do wód. Ograniczanie się tylko do przepisów określających dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń w ściekach powinno być rozszerzone o wymóg przeprowadzenia analizy wpływu źródeł zanieczyszczeń na jakość wody odbiornika. Wymagany stopień oczyszczania ścieków odniesiony byłby wtedy zarówno do dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń wód jak i do dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do odbiornika. Wymagania zawarte obecnie w dyrektywie ramowej również wskazują na zasadność stosowania norm określających jakość ścieków łącznie z normami jakości wody odbiornika.

Wobec szczupłości zasobów wodnych w Polsce, niezależnie od zwiększenia efektywności kierunku związanego z oczyszczaniem ścieków i usprawnianiem narzędzi prawnych i ekonomicznych w tym zakresie, niezbędne będzie opracowanie prawodawstwa związanego nie tylko z leczeniem skutków unieszkodliwiania zanieczyszczeń, lecz przede wszystkim związanego z zapobieganiem ich powstawania, ze szczególnym uwzględnieniem substancji toksycznych. Stwierdzono, że wraz z rozwojem społecznym i gospodarczym pojawiać się będą nowe

problemy związane z nowymi rodzajami i formami zanieczyszczeń. Dlatego jednym z podstawowych kierunków ochrony wód winno być opracowywanie i wdrażanie nowych wysokoefektywnych technologii uzdatniania wody, oczyszczania ścieków i unieszkodliwiania osadów ściekowych. Technologia wody, ścieków i osadów jest dziedziną wymagającą ciągłego rozwoju, winna bowiem nadążać za pojawianiem się coraz to nowych form zanieczyszczeń zawartych w wodzie i ściekach oraz za przyjętymi strategiami ochrony wód. Towarzyszyć temu winno uruchamianie projektów badawczych dla opracowywania nowych technologii oraz promocja sprawdzonych wysokoefektywnych rozwiązań w kraju i za granicą.

## 11.6. Podsumowanie

Na zakończenie rozdziału należy podkreślić, że projekt realizowany był jeszcze przed wejściem w życie Ramowej Dyrektywy Wodnej, przygotowując Polskę do jej realizacji.

Projekt Badawczy Zamawiany PBZ 28-02, zamówiony przez Ministra Środowiska, był jednym z najważniejszych projektów zamawianych Komitetu Badań Naukowych, integrującym prace badawcze czterech instytutów resortu ochrony środowiska z pracami badawczymi wykonanymi przez sześć instytutów przemysłu i rolnictwa, przy czym Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej był głównym wykonawcą powyższego projektu. W ramach projektu opracowano strategie oraz strategiczne kierunki działań dla: zanieczyszczeń komunalnych, zanieczyszczeń toksycznych, zanieczyszczeń azotem i fosforem, zanieczyszczeń z wybranych gałęzi przemysłu (chemicznego, celulozowo —papierniczego, cukrowniczego, górnictwa nafty i gazu), zasolenia wód, zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia rolniczego, sanitacji wsi w zakresie oczyszczania ścieków, zanieczyszczenia wód podziemnych. Tam gdzie stosowne, strategie opracowano z punktu widzenia ochrony zdrowia i przyrody oraz potrzeb gospodarczych.

Celem głównym projektu było opracowanie podstaw naukowych wyboru strategii ochrony krajowych zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem uwzględniającej powyższe strategie cząstkowe dla zidentyfikowanych problemów ochrony wód postawionych przez resort ochrony środowiska. Podstawy naukowe wyboru polityki i strategii ochrony wód zostały opracowane jako integralne części polityki i strategii gospodarki wodnej. Ważniejsze podstawy wyboru takiej strategii zostały przedstawione powyżej. Realizacja wszystkich zadań projektu umożliwiła określenie konkretnych kierunków działań strategicznych. Przedstawione działania strategiczne ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem zostały ujęte w proponowanym planie realizacyjnym określającym zagadnienia, zalecane działania oraz priorytety.



## **Bibliografia**

1. Strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń komunalnych (zadanie 1). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa 1996, str. 187.
2. Strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń toksycznych (zadanie 2). Raport. Końcowy PBZ 28-02. Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych. Katowice 1996, str. 85 + załączniki i tablice.
3. Strategia i działania ograniczające ładunki azotu (zadanie 3). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Gdańsk 1996, str. 63 + załączniki i tablice.
4. Strategia i działania ograniczające ładunki fosforu (zadanie 4). Raport Końcowy PBZ28-02. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Gdańsk 1996, str. 75 + załączniki i tablice.
5. Kierunki i możliwości racjonalizacji zużycia wody w wybranych gałęziach przemysłu (zadanie 5A). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 1996, str.113.
6. Strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń w przemyśle chemicznym (zadanie 5B). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Chemii Przemysłowej. Warszawa 1996, str. 143 + załączniki.
7. Strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń w przemyśle celulozowo-papierniczym (zadanie 5C). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Celulozowo-Papierniczy. Łódź 1996, str. 109.
8. Strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń w przemyśle cukrowniczym. (zadanie 5D). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Przemysłu Cukrowniczego. Warszawa 1996, str. 81 + załączniki.
9. Strategia i działania ograniczające ładunki zanieczyszczeń w przemyśle górnictwa nafty i gazu (zadanie 5E). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa. Kraków 1996, str. 150 + załączniki.
10. Strategia i działania ograniczające zasolenie wód (zadanie 6). Raport Końcowy PBZ 28-02. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 1996, str. 191.
11. Strategia i działania ograniczające zanieczyszczenia obszarowe pochodzenia rolniczego (zadanie 7). Raport Końcowy PBZ 28-02. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Falenty 1996, str. 165 + załączniki.
12. Strategia sanitacji wsi w zakresie oczyszczania ścieków (zadanie 8). Raport Końcowy PBZ 28 – 02. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Falenty 1996, str. 298 + załączniki, tablice.
13. Strategia ograniczająca zanieczyszczenia wód podziemnych (zadanie 9). Raport Końcowy PBZ 28 – 02. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa 1996, str. 271 + mapy.
14. Opracowanie założeń krajowej polityki oraz strategii i programu działań ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem (zadanie 10). Raport Końcowy PBZ – 02. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 1997, str. 413 + załącznik.
15. Raport Końcowy PBZ 28-02 pt.: Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem z punktu widzenia ochrony zdrowia i przyrody oraz potrzeb gospodarczych. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 1997, str. 273 + załącznik.
16. Projekt Badawczy Zamawiany PBZ-28-02 Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem. Materiały na Krajową Konferencję. Wydawnictwo Narodowa Fundacja Gospodarki Wodnej. Ustroń, marzec 1998, s.244. ISBN 83-85176-49-7.

## 12. Planowanie ochrony wód w RDW

W rozdziale przedstawiono dotychczasową realizację planowania ochrony wód w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW) w kraju oraz wagę racjonalnego podejścia do zagadnienia planowania gospodarowania wodą w aspekcie ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Podejście powyższe zostało przedstawione na tle doświadczeń niemieckich w zakresie realizacji RDW. Racjonalność każdego postępowania, w tym racjonalność w planowaniu ochrony wód, zmusza najpierw do zebrania niezbędnych informacji, a następnie ich analizy, aby podejmować właściwe decyzje. Pojęcie racjonalności znalazło między innymi zastosowanie w ekonomii w tzw. „zasadzie racjonalnego gospodarowania”. Zasada ta posiada dwa aspekty: pierwszy – związany z maksymalizacją efektów przy założonym poziomie nakładów, a drugi – z minimalizacją nakładów przy założonym poziomie efektów. Powyższe oznacza, że postulat racjonalności w planowaniu ochrony wód przed zanieczyszczeniem wymaga posiadania niezbędnych informacji z jednej strony oraz umiejętności ich przetwarzania i analizowania z drugiej.

### 12.1. Zasady działań ochrony wód w RDW

Zasady ochrony wód zostały ustalone RDW, w której ustalone ramy mają na celu zapobieganie dalszemu pogarszaniu się stanu wód oraz ochronę i polepszenie tego stanu. Zwiększenie ochrony wód przed zanieczyszczeniem i polepszenie stanu środowiska wodnego ma nastąpić przez działania związane z progresywną redukcją zrzutów, emisji i strat **substancji priorytetowych** oraz zaprzestanie lub stopniowe wyeliminowanie zrzutów emisji i strat **niebezpiecznych substancji priorytetowych**, jak też progresywną redukcję zanieczyszczenia wód podziemnych i zapobieganie ich zanieczyszczeniu. Istotną sprawę jest też ograniczenie wpływu powodzi i susz na środowisko naturalne. Celem podstawowym RDW jest osiągnięcie zdefiniowanego dobrego stanu dla wszystkich rodzajów wód. Cele środowiskowe RDW winny umożliwić osiągnięcie:

- dobrego stanu ekologicznego oraz dobrego stanu chemicznego dla wód powierzchniowych,
- dobrego stanu chemicznego i dobrego stanu ilościowego dla wód podziemnych,
- dobrego potencjału ekologicznego i dobrego stanu chemicznego dla sztucznych odbiorników,
- dobrego potencjału ekologicznego i dobrego stanu chemicznego dla wód powierzchniowych w odbiornikach znacznie zmodyfikowanych.

Do celów środowiskowych zaliczono również: zapobieganie pogarszania się stanu wód powierzchniowych i podziemnych, osiągnięcie celów i standardów



dla obszarów chronionych, odwrócenie każdego ze znaczących i trwałych trendów wzrostu stężeń zanieczyszczeń w wodach podziemnych, jak też zaprzestanie rzutów priorytetowych substancji niebezpiecznych do wód powierzchniowych.

Podstawowe działania niezbędne dla osiągnięcia wymaganego stanu jakości wód to:

- redukcja ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych do wód powierzchniowych i podziemnych, w tym między innymi zanieczyszczeń biogenych i organicznych rozkładalnych,
- polepszanie warunków hydromorfologicznych wód powierzchniowych i przywracanie wolnego przepływu dla fauny, szczególnie dla ryb.

Istotne jest również zidentyfikowanie innych działań dotyczących gospodarowania wodą o charakterze regionalnym, związanych ze specyfiką danego regionu, przykładowo działań dotyczących specyficznych zanieczyszczeń. Dla realizacji tych zadań niezbędna jest **wiedza** dotycząca:

- aktualnego stanu jakości wód poszczególnych dorzeczy,
- celów środowiskowych wynikających z powyższego stanu jakości wód,
- działań planowanych z uwagi na konieczność osiągnięcia celów RDW,
- koniecznego czasookresu dla osiągnięcia celów środowiskowych,
- wysokości i sposobu finansowania realizacji działań.

Dla określenia aktualnego stanu jakości zasobów wodnych niezbędne są intensywne programy monitoringu jakości wód i badań. Winny być one realizowane dla tzw. Jednolitych Części Wód – JCW (ang. *water bodies*) dla wód powierzchniowych i podziemnych, w ramach wyznaczonych, przyjętych do analizy obszarów dorzeczy. Poprawność przetłumaczenia na język polski z języka angielskiego powyższego terminu budzi od szeregu lat szereg wątpliwości merytorycznych. Lepszą byłaby być może nazwa *elementy stanu wód*. Niezależnie od poprawności terminu JCW, istotna jest pewna racjonalność zarówno w stosunku do liczby dorzeczy, jak i w stosunku do liczby JCW dla wód powierzchniowych i podziemnych. Łczy się to nie tylko z zakresem monitoringu, obejmującego między innymi również ekologiczny stan wód, ale również nową jego rolę w ustalaniu stanu wód. Wyniki monitoringu winny być bowiem wykorzystywane nie tylko przy opracowywaniu planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy i stosownych programów działań, ale też do sprawdzania skuteczności podejmowanych działań. Związane jest to również między innymi z cyklicznością sporządzania tych planów.

## 12.2. Realizacja RDW w Polsce

W Polsce, informacje o RDW pojawiły się dość wcześnie, nawet wtedy gdy pojawił się projekt dyrektywy, a następnie po jej opublikowaniu, jeszcze przed

przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej, czego wyrazem jest monografia autora [1-3], w której, w kolejnych wydaniach, zamieszczone były autorskie tłumaczenia tych dokumentów z języka angielskiego na język polski, wraz z wstępną merytoryczną interpretacją tekstu. Pojawiło się też szereg publikacji analitycznych poświęconych różnym aspektom RDW, takich jak [4-6]. Po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, przetłumaczony tekst tej dyrektywy opublikowała w 2005 roku również Polska Akademia Nauk [7]. Warto dodać, że pierwszą monografię międzynarodową, poświęconą RDW, autorstwa Petera Chave, opublikowało Międzynarodowe Stowarzyszenie Wody (IWA) w Londynie w 2001 roku [8], natomiast w Polsce, bardzo dobrą monografię – stanowiącą analizę prawną implementacji RDW – opublikował prof. Jerzy Rotko w 2013 roku [9].

Mimo powyższych i wielu innych cennych publikacji i informacji, szczególnie poradników Komisji Europejskiej, dyrektywa wodna (RDW) była w Polsce często mylona z dyrektywą ściekową, której poświęcono znacznie więcej uwagi, głównie ze względu na zapisy traktatowe, a której postanowienia realizowano w postaci Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK).

Natomiast w stosunku do RDW, przyjęto bezkrytycznie, dając temu wyraz w ustawie Prawo wodne, że dobry stan wód w Polsce osiągniemy już w 2015 roku, nie mając ku temu podstaw opartych o wyniki monitoringu jakości wód. Kierowano się przy tym wyłącznie stosownymi zapisami RDW, nie uwzględniając faktu wejścia jej w życie w Unii Europejskiej już w 2000 roku, gdy Polska nie była jeszcze jej członkiem. Postanowienia tej bardzo ważnej dla gospodarki wodnej dyrektywy, nie były też przedmiotem negocjacji, bowiem negocjacje w tzw. obszarze środowisko zostały wcześniej zamknięte i nie chciano już tego stanu zmieniać.

Jednakże, mimo upływu wielu lat od wejścia w życie RDW i ogólnej sytuacji ekonomicznej, nie zweryfikowano poglądu o terminie uzyskania dobrego stanu wód przez Polskę. Natomiast od dłuższego czasu powszechnie formułowane są stanowiska, że niezrealizowanie powyższego założenia spowoduje dla kraju konsekwencje finansowe. Konsekwencje takie mogą w przyszłości oczywiście wystąpić, ale wynikać będą przede wszystkim z nieprawidłowej transpozycji RDW i innych dyrektyw wodnych do ustawy Prawo wodne, w tym opóźnień traktatowych związanych z dyrektywą ściekową, jak też z ewentualnych możliwości zablokowania unijnych środków pomocowych, przewidzianych na gospodarkę wodną. Dlatego należy zrobić wszystko, aby tego uniknąć.

Realizacja RDW w Polsce łączy się również z wieloma niewłaściwymi decyzjami i działaniami, o różnym znaczeniu, podejmowanymi w tym zakresie, na przestrzeni wielu lat. Świadczy o tym wspomniana wieloletnia zła transpozycja RDW i innych dyrektyw do krajowego Prawa wodnego, co zarzucała nam kilkakrotnie

Komisja Europejska. Do decyzji tych można też zaliczyć decyzję, chociaż znacznie mniejszej skali, o przerwaniu prowadzenia projektu szkoleniowego w zakresie RDW we współpracy z Niemcami (Bawaria), już po pierwszym etapie jego realizacji, która zapadła mimo oczywistego faktu, że mamy wspólną granicę na Odrze i Nysie Łużyckiej. Dalszą realizację tego projektu powierzono Francji i wiadomo czym się to się skończyło, chociaż w pewnym stopniu również ze względów obiektywnych. Na merytorycznej jakości prac związanych z RDW odbiło się również bezmyślne likwidowanie poszczególnych zakładów badawczych ochrony wód w kraju, zamiast ich przekształcenia w nowy, silny Instytut Jakości i Ochrony Wód. Niewłaściwe było również zlikwidowanie Zespołu Koordynacyjnego Do Spraw RDW, jak też nieuwzględnienie wyważonego stanowiska Krajowej Rady Gospodarki Wodnej w sprawie wdrażania programu Natura 2000 w Polsce, czy też powierzenie wykonania planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy firmie, nie dysponującej większym doświadczeniem w tej materii.

Skutkiem powyższego był fakt, że przesłane do Komisji Europejskiej plany okazały się, według Komisji, źle opracowane, a w stanowisku wyrażonym przez Komisję Europejską do Rządu RP w grudniu 2012 roku stwierdzono jednoznacznie, że: „w Polsce nie rozumie się nie tylko postanowień ani nawet ducha RDW”. Wydaje się jednak, że powyższe stwierdzenie Komisji poszło za daleko. Konsekwencją powyższego była konieczność opracowania przez Polskę tzw. „masterplanów” dla Wisły i Odry, w terminie do połowy 2014 roku, niezależnie od konieczności dokonania aktualizacji istniejących planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy. Praktycznie oznaczało to jednak opracowanie nowych planów w perspektywie lat 2015-2021, ponieważ jak wspomniano, uprzednie dokumenty planistyczne były nieodpowiednio przygotowane. Powyższe fakty i wiele innych świadczą o tym, że kryzys krajowej gospodarki wodnej był daleko większy niż powszechnie uznany. Był to również niewątpliwie **kryzys wiedzy**, który utrudniał, lub nawet uniemożliwiał, podejmowanie racjonalnych decyzji i realizację stosownych działań.

### 12.3. Opracowywanie planów gospodarowania wodami w RFN

Zaprezentowany poniżej przykład z Niemiec na podstawie informacji z Federalnego Ministerstwa Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa Nuklearnego [10-11] wskazuje, że mogło być inaczej.

W Republice Federalnej Niemiec (RFN), niezależnie od tego, że jest to państwo federalne, składające się z 16 krajów związkowych, opracowano plany dla dziewięciu wyznaczonych obszarów dorzeczy, a mianowicie: Dunaju, Renu, Mozy, Ems, Wezery, Odry, Elby, Eldery, Warnow-Piany. Dla powyższych obszarów dorzeczy,

wyznaczono 9900 elementów stanu wód (JCWPw) dla wód powierzchniowych oraz 1 000 elementów stanu wód (JCWPp) dla wód podziemnych.

Plany gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy opracowano dla wyznaczonych obszarów, a nie dla elementów stanu wód (JCW), ale ocenę jakości wód przeprowadzono dla wszystkich wyznaczonych JCW.

Dla wód powierzchniowych oceniono stan ekologiczny i stan chemiczny, a dla wód podziemnych oceniono stan ilościowy i stan chemiczny. Prace planistyczne rozpoczęto od wnikliwej analizy **rezultatów monitoringu jakości wód**. W **wodach powierzchniowych** oceniono **stan ekologiczny** dla JCWPw, stwierdzając co następuje:

- 10% posiada dobry stan/potencjał ekologiczny,
- 30% posiada umiarkowany stan/potencjał ekologiczny,
- 34% posiada słaby stan/potencjał ekologiczny,
- 12% posiada zły stan/potencjał ekologiczny,
- 3% posiada niepewny stan/potencjał ekologiczny (nie został oceniony).

Natomiast ocena **stanu chemicznego** dla JCWPw wykazała, że: 88% posiada dobry stan chemiczny, 12% posiada zły lub niepewny stan chemiczny. W **wodach podziemnych** oceniono **stan ilościowy** dla JCWPp, stwierdzając, że: 96% posiada dobry stan ilościowy, 4% posiada zły stan ilościowy. Natomiast ocena **stanu chemicznego** dla JCWPp wykazała, że: 63% posiada dobry stan chemiczny, 37% posiada zły stan chemiczny.

Ogólnie można stwierdzić, że łączna ocena stanu (ekologicznego i chemicznego) wód powierzchniowych wykazała, że tylko około 9,5% JCWPw ma dobry stan. Wyrażono przy tym obawy, że powyższa klasyfikacja może okazać się nawet jeszcze mniej pozytywna, gdy trzeba będzie uwzględnić postanowienia dyrektywy 2008/105/WE dotyczącej środowiskowych standardów jakości. Natomiast łączna ocena stanu (ilościowego i chemicznego) wód podziemnych wskazała, że 62% JCWPp ma dobry stan, przy czym 58% JCWPp wykazuje trendy zwiększenia stężeń zanieczyszczeń. Zły stan ilościowy JCWPp spowodowany jest głównie przez kopalnictwo, a zły stan chemiczny JCWPp przez przekroczenie stężenia 50 mg/dm<sup>3</sup> azotanów pochodzenia rolniczego.

**Powyższe wynik przeprowadzonej oceny jakości wód były zasadnicze dla dalszego procesu planowania.** Ustalenia wynikające z oceny jakości wód wywarły bowiem duży wpływ na opracowanie planów gospodarowania wodami na obszarach niemieckich dorzeczy, jak też na racjonalne decyzje w stosunku do celów środowiskowych RDW oraz w stosunku do możliwości czasowych ich osiągnięcia.

Szczególnie interesujące wydają się przyjęte derogacje czasowe:

- derogacjami objęto aż 82% JCWPw, antycypując, że w 2015 roku 18% będzie miało dobry stan wód, co oznacza, przy obecnym poziomie wynoszącym 9,5 %

JCWPw posiadających stan dobry, że tylko dalsze 8,5% JCWPw osiągnie dobry stan wód w wymaganym terminie (2015 rok),

- stwierdzono, że takie możliwości dla derogacji występują w terenach górniczych w dorzeczach Renu, Mozy, Elby i Odry, a także w dorzeczu rzeki Wezery, gdzie metale ciężkie z górnictwa przedostają się do rzek mniejszych,
- derogacjami objęto również 36% JCWPp, ponieważ założono, że tylko 2% JCWPp osiągnie dobry stan w 2015 roku, a 62% JCWPp już go posiada.

Dlatego skorzystano z możliwości derogacji czasowych dla różnych celów do 2021 roku, lub nawet do 2027 roku. Stwierdzono bowiem, że w przypadku gęsto zaludnionego i przemysłowego państwa, jakim jest niewątpliwie RFN, nie ma możliwości w krótkim czasie osiągnięcia celów (to jest do końca 2015 roku) i zmodyfikowania wszystkich JCW, które tego wymagają.

Powyższe kluczowe decyzje wywarły również wpływ na opracowywanie programów działań i terminów ich realizacji. Programy niezbędnych działań, wynikających z rezultatów monitoringu, zostały opracowane w oparciu o następujące kryteria:

- możliwość osiągnięcia wymaganego celu środowiskowego przez dane działanie,
- okres czasu w którym dany cel środowiskowy zostanie osiągnięty,
- ustalenie czy pojedyncze działanie jest wystarczające czy raczej winien to być zespół działań i być może bardziej efektywnych ekologicznie,
- możliwości techniczne i finansowe zrealizowania działań,
- efektywność ekonomiczna podejmowanych działań.

Mimo, że programy działań powinny uwzględniać poziom JCW dla wód podziemnych i powierzchniowych, to z uwagi na ich dużą liczbę (łącznie 10 900) postanowiono, dla celów planistycznych, znacznie ograniczyć ich ilość. Planowanie w ramach programów działań oparto o znacznie większe, scalone jednostki stanu wód, a mianowicie przyjęto: 225 tzw. „jednostek planistycznych” dla wód powierzchniowych, 45 tzw. „obszarów koordynacyjnych (roboczych)” dla wód podziemnych. Ważnym jest, że przyjęte do planowania jednostki planistyczne dla wód powierzchniowych oraz obszary koordynacyjne dla wód podziemnych zostały oparte o **granice hydrograficzne**. Powyższe podejście pozwoliło na uwzględnienie podstawowej zasady RDW, to jest zlewniowej ochrony zasobów wodnych, jak też racjonalnego opracowania programów działań, które taką ochronę umożliwiają. W przypadku wodnych jednostek planistycznych dla wód powierzchniowych, programy działań uwzględniały: miasta i osiedla, hydromorfologię oraz zachowanie ciągłości cieków (tj. wolnego przemieszczania się fauny). Natomiast, w przypadku wodnych obszarów koordynacyjnych dla wód podziemnych programy działań uwzględniały: przemysł, w tym kopalnictwo i przemysł rybacki, tylko na poziomie regionalnym.

Implementację postanowień RDW w Niemczech cechuje duży tzw. racjonalizm finansowy. Już na początku działalności planistycznej przyjęto, że odpowiednie finansowanie stanowić będzie podstawę osiągnięcia celów środowiskowych wyznaczonych przez RDW. W związku z powyższym, przyjęto następujące podstawy finansowe:

- finansowanie działań dla osiągnięcia celów środowiskowych winno być znaczące,
- powinna obowiązywać zasada, że koszty występujące w przedsiębiorstwach wod.-kan. są w pełni odzyskiwane,
- koszty fizycznych szkód środowiskowych i koszty spowodowane nadmiernym wykorzystaniem zasobów wodnych (kosztem przyszłych użytkowników) winny być uwzględnione,
- zasada zanieczyszczający płaci powinna powodować, że użytkownicy wód wnoszą odpowiednią finansowy wkład do przedsiębiorstw wod.-kan.,
- konieczne jest uwzględnienie zasady proporcjonalności dla kosztów stosowanych działań.

Powyższe podstawy finansowania miały spowodować zapewnienie wystarczających funduszy, w określonych okresach czasu, na działania redukujące zanieczyszczenia wód. Oszacowane koszty implementacji koniecznych działań, do końca 2015 roku, wyniosły 9,4 mld EUR, co oznacza kwotę około 20 EUR/Mieszkańca/rok.

## 12.4. Podsumowanie

Polska powinna skorzystać z doświadczeń niemieckich przy opracowywaniu nowych planów gospodarowaniu wodami na obszarach dorzeczy. Powinno się przy tym podejść do sprawy racjonalnie i między innymi przeanalizować: dla jakich dorzeczy winny być zrealizowane plany gospodarowania wodami, ile wyznaczyć JCW powierzchniowych i podziemnych, ile przyjmując scalonych jednostek planistycznych dla tych wód, jakie programy działań ustanowić, ile to będzie kosztować, skąd będą środki i w jakiej wysokości oraz na tej podstawie zastanowić się nad derogacjami, szczególnie derogacjami czasowymi. Oczywiście nie zrobi się tego bez prawidłowych i dobrze skonstruowanych programów monitoringowych i badań jakości wód oraz ustanowionego monitoringu zrzutów zanieczyszczeń, które winny być podstawą dla powyższej działalności. Do analizy danych z monitoringu jakości wód i zrzutów zanieczyszczeń punktowych i obszarowych, jak też programów działań, konieczne jest zastosowanie nowoczesnych, profesjonalnych narzędzi, a mianowicie modeli matematycznych oraz systemów informacyjnych, a szczególnie systemów informacji przestrzennej(GIS) zintegrowanych



z modelami. Podstawą wszelkich działań jest przede wszystkim prawidłowa transpozycja RDW i innych dyrektyw do nowego Prawa wodnego lub nawet opracowanie ustawy o ochronie wód przed zanieczyszczeniem.

W sprawach legislacyjnych, Komisja Środowiska Senatu RP w swym stanowisku z sierpnia 2013 roku, uznała za niezbędne: dokonanie zmian w ustawie o działach o administracji rządowej – aby odzwierciedlić zintegrowany system gospodarowania wodami, jak też opracowanie i uchwalenie ustawy o polityce wodnej państwa oraz ustawy o polityce zwalczania stanów nadzwyczajnych wywołanych przez wodę. Stwierdziła dodatkowo, że wprowadzona wówczas nowelizacja ustawy Prawo wodne jest niewystarczająca.

Niezależnie od spraw legislacyjnych, problemem jest właściwa organizacja, koordynacja i wykonawstwo, bo unijnych i krajowych obowiązków związanych z zasobami wodnymi ciągle przybywa. Polska straciła już bardzo dużo czasu i nie można go już dalej tracić. Konieczne jest ciągle wzmacnianie instytucjonalne gospodarki wodnej. Plany gospodarowania wodami winny być wykonywane przy współpracy z jednostkami związanymi z wodą, w tym instytuty resortowe, we współpracy z innymi właściwymi jednostkami, w sposób spójny i właściwie skoordynowany. Winien być też włączony Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, szczególnie w analizę aspektów o charakterze ekonomicznym. Należy skorzystać również z wiedzy uczelni wyższych i jednostek Polskiej Akademii Nauk. Wydaje się, że do koordynacji i nadzorowania prac winno się powołać stosowną jednostkę koordynacyjną. Należy przy tym skorzystać z doświadczeń planistycznych i pragmatyki oraz racjonalności niemieckiej i rozpocząć oficjalną współpracę polsko-niemiecką w tym zakresie.

## **Bibliografia**

1. Gromiec M.: Polityka wodna Unii Europejskiej i jej implikacje dla Polski. Monografie, Seria: Wodociągi i Kanalizacja Nr 2. Wydanie 1. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Warszawa 1998.
2. Gromiec M.: Polityka wodna Unii Europejskiej i jej implikacje dla Polski. Wydanie 2 zmienione. Monografie. Seria: Wodociągi i kanalizacja Nr 2. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Warszawa 1999.
3. Gromiec M.: Polityka wodna Unii Europejskiej w Dyrektywie Ramowej 2000/60/UE i jej implikacje dla Polski. Wydanie 3 zmienione. Monografie. Seria: Wodociągi i Kanalizacja Nr 2. Polskie zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Warszawa 2002.
4. Gromiec M.: Droga Polski do Europy w zlewniowej gospodarce wodnej. Gospodarka Wodna 4. 128-132, 1999.
5. Gromiec M.: Rola Parlamentu Europejskiego w pracach nad Ramowa Dyrektywą Wodną. Gospodarka Wodna 12. 500-502. 2001.



6. Gromiec M: Wybrane aspekty Ramowej Dyrektywy wodnej w świetle wspólnej strategii wdrażania poradników Unii Europejskiej. *Gospodarka Wodna* 7, 268-271, 2004.
7. Gromiec M.: Ramowa Dyrektywa wodna. W: *Ochrona środowiska w dokumentach Unii Europejskiej*. Polska Akademia Nauk, Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus” przy Prezydium PAN. Wyd. WDN PAN, Warszawa 2005.
8. Chave P.A.: *The EU Water Framework Directive – an Introduction*. IWA Publishing. London 2001.
9. Rotko J.: *Ramowa dyrektywa wodna – analiza prawna*. Wyższa Szkoła Pedagogiki i Administracji. Poznań 2013.
10. *Water Framework Directive: The way towards healthy waters. Results of the German river basin management plans 2009*. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.
11. Borchardt D., Richter S., Volker J. Mohaupt V.: *Implementation of the Water Framework Directive in Germany*. *Water and Wastes* 5, 8 -10, 2012.

## **13. Rozwój monitoringu stanu wód**

Na świecie, a szczególnie po Europie, po ukazaniu się Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW), następuje ciągły postęp w rozwoju monitoringu stanu wód w zlewniach rzek i jego elementów technicznych. W Polsce, dyrektywa spowodowała między innymi przejście monitoringu z układu wojewódzkiego na układ w dorzeczach / zlewniach, co powinno przyczynić się do dalszego rozwoju monitoringu stanu wód. Należy podkreślić, że europejska polityka wodna zmierza w kierunku stworzenia jednolitego i spójnego systemu monitoringu stanu jakościowego wód w Unii Europejskiej. Rozdział oparto na rozszerzonej publikacji [17].

### **13.1. Rola i zakres monitoringu stanu wód**

Rola monitoringu wód wynika z konieczności monitorowania postępu w stanie wód w sposób systematyczny, a uzyskane informacje winny stanowić podstawę do opracowania programów działań potrzebnych do osiągnięcia ustanowionych celów dla ilości i jakości zasobów wodnych. Rola monitoringu wód w dyrektywie ramowej wynika z faktu konieczności wykorzystania wyników monitoringu przy opracowywaniu planów wodnych w zlewniach i programów działań w poszczególnych dorzeczach/ zlewniach, a co istotne – do sprawdzenia skuteczności podjętych działań. W celu realizacji powyższego, winny być ustanowione programy monitoringu stanu wód, które umożliwiają spójną i kompleksową ocenę tego stanu w każdym ustanowionym dorzeczu/ zlewni.

Ogólny zarys tych programów podano poniżej w stosunku do wód powierzchniowych i wód podziemnych oraz obszarów chronionych, W przypadku wód powierzchniowych obejmuje on objętość wód i natężenie przepływu, w zakresie stosowanym dla stanu ekologicznego i chemicznego oraz potencjału ekologicznego, jak też stan ekologiczny, stan chemiczny, potencjał ekologiczny. Natomiast dla wód podziemnych obejmuje on stan ilościowy i stan chemiczny. Obszary chronione winny być uzupełnione stosowne specyfikacje zawarte w prawodawstwie wspólnotowym.

W przypadku wskazania przez dane monitoringu stanu wód, że ustalone cele środowiskowe nie zostaną osiągnięte to konieczne będzie wykonanie takich zadań jak: zbadanie przyczyn niepowodzenia, dostosowanie programów monitoringu stanu wód do zaistniałej sytuacji, ustanowienie dodatkowych działań, w tym przyjęcie ostrzejszych standardów jakości środowiska gdzie jest to stosowne. Możliwe jest również uwzględnienie wyjątkowych okoliczności, które uniemożliwiły osiągnięcie celów środowiskowych z przyczyn naturalnych

i sił wyższych, do których zaliczono w szczególności powodzie i długie okresy występowania suszy.

RDW wprowadziła nowe wymagania dla monitoringu stanu wód, powodując konieczność inwentaryzacji odbiorników wodnych, oceny ich stanu chemicznego i biologicznego oraz analizy wpływu zanieczyszczeń nijkasóć wód. Istnieją trzy rodzaje programów monitoringu dla wód powierzchniowych i podziemnych w celu kompleksowej analizy stanu wód; monitoring kontrolny dla oceny długoterminowych zmian w warunkach naturalnych oraz zmian wynikających z działalności antropogenicznej, monitoring operacyjny dla określenia stanów wód zasobów wodnych zagrożonych niespełnieniem wymaganych celów ekologicznych oraz zmian stanów wód wynikających z programów działań, monitoring badawczy dla określenia przyczyn występujących problemów w spełnieniu celów środowiskowych lub dla określenia wielkości i oddziaływania zanieczyszczeń przypadkowych. Równocześnie określono najważniejsze zanieczyszczenia odprowadzane do środowiska wodnego, nadając priorytetowe znaczenie zanieczyszczeniom posiadających charakter toksyczny, następnie zanieczyszczeniom przyczyniające się do zjawiska eutrofizacji wód oraz zanieczyszczeniom mającym wpływ na bilans tlenowy zasobów wodnych. Rośną jednak zagrożenia spowodowane: nowymi formami zanieczyszczeń chemicznych, w tym o charakterze mutagennym, teratogennym, embiotoksycznym i genotoksycznym, jak też mikroorganizmami chorobotwórczymi, szczególnie bakteriami i wirusami o wysokiej patogenności.

Stwarza to konieczność rozszerzania zakresu monitoringu, jak też możliwość wprowadzenia zupełnie nowych zastosowań monitoringu. W Polsce, praktycznie nie ma sprzężenia monitoringu stanu wód z istnieniem zorganizowanego monitoringiem różnych rodzajów ścieków lub form zanieczyszczeń w nich zawartych.

Ostatnio, światowe doniesienia medialne z USA i Europy wskazują na występowanie wirusa SARS-CoV-2 w moczu i kale ludzkim, co oznacza, że wirus ten pojawił się w ściekach i może pojawić się w osadach ściekowych. W szeregu państwach, rozpoczęto badania nad zastosowaniem monitorowania wirusa w ściekach komunalnych i dla wskazania jego występowania i określenia stopnia rozwoju pandemii COVID-19 (patrz rozdział 26).

### **13.2. Rozwój elementów technicznych i systemów monitoringu wód**

Na świecie następuje ciągły postęp w rozwoju różnych elementów technicznych monitoringu stanu wód. Podstawowe kierunki rozwoju monitoringu stanu wód podano poniżej:

- rozwój czujników pomiarowych,
- rozwój rejestratorów danych pomiarowych,

- rozwój systemów przekazywania danych,
- rozwój systemów atestacji i prezentacji danych pomiarowych,
- rozwój analizy wyników pomiarowych.

Powyższe kierunki rozwoju pięciu podstawowych kierunków monitoringu przedstawiono poniżej w skróconej formie.

**Rozwój czujników pomiarowych.** Następuje ciągle udoskonalanie i miniaturyzacja czujników pomiarowych, w tym czujników do pomiarów ciągłych hydrologicznych ilości wód (stanów hydrologicznych wód) oraz coraz większej ilości różnych czujników do pomiarów ciągłych parametrów jakościowych. Przykładowo, czujniki do pomiarów jakościowych obejmują: zasolenie, pH, temperatura, potencjał redox, przewodność elektrolityczna, zasolenie, absorpcja UV, fluorescencja i szereg innych. Pojawiły się również urządzenia pomiarowe (sondy) do pomiaru ilościowego parametrów biologicznych, przykładowo fito i zooplanktonu.

**Rozwój rejestratorów danych pomiarowych.** Wraz z rozwojem elektroniki, nastąpił postęp w konstrukcji rejestratorów danych pomiarowych. Powstały rejestratory, które mają możliwości rozszerzenia działalności, posiadają charakter modułowy (wieloczynnościowy) i mają elementy auto-diagnostyczne. W związku z powyższym wzrósł zasadniczo stopień wiarygodności ich działania.

**Rozwój systemów przekazywania danych.** W zakresie systemów danych następuje ciągła rewolucja naukowo-techniczna. Środki przesyłania danych na odległość przekazy: radiowe, telefoniczne standardowe, telefoniczne komórkowe, satelitarne. Olbrzymi postęp nastąpił w dwóch ostatnich wymienionych środkach i na naszych oczach następuje dalszy i niesłychanie szybki rozwój. Pewna barierę może stanowić cena tych usług, co jednak może ulec zmianie w niedalekiej przyszłości.

**Rozwój systemów atestacji i prezentacji danych pomiarowych.** Nieustanny rozwój technik komputerowych i ich zastosowanie w praktyce powoduje znacznie zwiększone możliwości w stosunku do: sprawdzenia danych pomiarowych, ich magazynowaniu, sprzęganiu z systemami alarmowymi, raportowania, prezentacji graficznej, w szczególności w zakresie szybkiego importu eksportu danych.

**Rozwój analizy wyników pomiarowych.** W analizie wyników pomiarowych oraz metodologii ich efektywnego wykorzystania następuje również ciągły postęp przyspieszony wprowadzeniem i zastosowaniem internetu. Od szeregu lat następuje postęp w komputerowych metodach modelowania matematycznego, szczególnie wykorzystywanego do celów prognostycznych.

**Systemy monitoringu stanu wód.** Postępy w rozwoju w przedstawionych powyżej elementach technicznych przyszłego systemu monitoringu stanu wód (rys. 1) przyczyniają się do budowy coraz bardziej zaawansowanych systemów monitoringu. Stwarza to możliwości nie tylko stworzenia bardziej efektywniejszych

systemów monitoringu, ale również komercjalizacji pewnych usług dla wybranych użytkowników/ klientów. Powyższe nie wyklucza oczywiście dalszego rozwoju oraz stosowania standardowych pomiarów i pomiarowych urządzeń laboratoryjnych, które będą nadal odgrywać ważną rolę w monitoringu stanu wód.

### 13.3. Postęp w rozwoju monitoringu i oceny stanu wód

W Polsce, koncepcja monitoringu jakości wszystkich rodzajów wód została opracowana w 1988 roku, na podstawie prac zrealizowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) oraz Instytut Ochrony Środowiska (IOŚ), przez Zespół IMGW [1]. Powyższa koncepcja obejmowała: monitoring wody powierzchniowych płynących, monitoring jezior, monitoring wód podziemnych i monitoring oceaniczny. Raport ekspertów amerykańskich, wykonany w ramach porozumienia zawartego między Amerykańską Agencją Ochrony Środowiska (US EPA) a Ministerstwem Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych (MOŚiZN), ocenił pozytywnie koncepcję, podkreślając konieczność oparcia monitoringu jakości wody o zlewnie rzek i odejście od ówczesnego systemu monitoringu opartego o granice województw [2]. Postulowano również wdrożenie sieci monitoringu biologicznego, opartego o zlewnie rzek, ściśle związanego z sieciami monitoringu fizyki-chemicznego, ale postulaty amerykańskie w niewielkim stopniu zostały wówczas wprowadzone w życie.

Wdrażanie postępu naukowo-technicznego do praktyki podsystemu monitoringu wód Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) w Polsce następowało stopniowo i związane było głównie ze wdrażaniem postanowień RDW (2000/60/UE). Problemy wdrożeniowe zostały szczegółowo przedstawione w ekspertyzie, wykonanej w 2001 roku dla Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ) [3].

W Unii Europejskiej (UE), pod kierunkiem Europejskiej Agencji Środowiska, rozpoczęto na początku XXI wieku prace nad monitoringiem stanu wód, mające na celu opracowanie wytycznych obejmujących między innymi: projektowanie monitoringu, kryteria identyfikacji znaczących odbiorników dorzecza/zlewni, wybór miejsc pomiarowych, integrację krajowych sieci monitoringu i integrację narodowych sieci na poziomie unijnym oraz procedur monitoringu dla różnego rodzaju wód zgodnych z RDW. Prace te dotyczyły również opracowanie kryteriów dla oceny stanu jakości wód dla każdego rodzaju wód w zakresie stanu chemicznego, stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu ilościowego, jak również zarządzania danymi w zakresie jakości danych, interkalibracji, przedstawiania danych i ich transmisji. W pracach nad rozwojem monitoringu szczególną uwagę zwrócono na zastosowanie Geograficznych Systemów Informatycznych – GIS do prezentowania sieci monitoringowej i wyników monitoringu.

W Polsce, prace badawcze nad metodami oceny stanu zanieczyszczenia i wód systemami informacji przestrzennej prowadził Zakład Ochrony Wód IMGW. Przykładowo, w latach 2003-2004, wykonano ocenę ogólnych trendów jakości wód płynących, dla lat 1990-2002, analizując zmienność ładunków wybranych wskaźników zanieczyszczeń, odprowadzanych obszaru kraju do Bałtyku [4]. Natomiast, analizę zmian jakości wody, zachodzących w latach 1994-2003 w wybranych zbiornikach wodnych, przeprowadzono w 2004 roku [5].

Prace badawczo-wdrożeniowe nad zastosowaniem GIS prowadzono w warunkach komercyjnych, wykorzystując współpracę międzynarodową. GIS i modelowanie matematyczne zostało przykładowo zastosowane do kontroli zanieczyszczeń obszarowych w polskich zlewniach, we współpracy z Danią [6]. Rozpoczęto również zastosowanie GIS i teledetekcji do analizy zmian na terenach zurbanizowanych; zastosowanie GIS do wizualizacji i analizy danych wejściowych oraz wyników modelowania matematycznego jakości wód; stworzenia mapy komputerowej podziału hydrograficznego Polski, która stanowiłaby podstawę przy pracach nad planami wodnym w zlewniach [7]. Zastosowano też Systemy Wspomagania Decyzji (SWD) zlewniach rzek [8], przykładowo w zlewniach rzeki Radomki i rzeki Narwi. Opracowano system pilotowy automatycznego monitoringu w zlewni Bugu, Narwi i na Jeziorze Zegrzyńskim oraz zainstalowano stacje pomiarowe jakości wody. Wykonano przy tym system łączności i utworzono centrum komputerowe [9]. System ten został zastosowany w praktyce do monitoringu ujęć wody dla m.st. Warszawy. Do gromadzenia i przetwarzania danych pilotowego systemu został zastosowany Zintegrowany System Monitoringu i DIMS (ang. Dynamic Integrated Monitoring System) – system bazy danych klient/serwer pracujący w środowisku Windows na Serwerze Microsoft SQL, a projekt realizowany był we współpracy Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie IMGW z Duńskim Instytutem Woda i Środowisko i Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji w st. m. Warszawie S.A. [10]. Kompleksowy system informacyjny rzeki Świder, oparty o GIS i model jakości wód, opracował Zakład Gospodarki Wodnej, we współpracy z Zakładem Chemii i Biologii Wody oraz Zakładem Geotechniki IMGW [11].

Modele trójwymiarowe przepływu i transportu zanieczyszczeń chemicznych w wodach podziemnych oraz GIS i oprogramowanie wspomagania projektowania (CADD) zostały zastosowane w praktyce do analizy wpływu składowisk wysypisk komunalnych na jakość wód podziemnych [12]. Tworzono podstawy zintegrowanych systemów informacyjnych w gospodarce wodnej, w tym między innymi dotyczących komunalnych oczyszczalni ścieków, informacji przestrzennej i jakości wód w zlewniach rzek [13]. Specjalizacją Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie IMGW stało się modelowanie w zlewniach rzek, co było ściśle związane

z wieloletnią współpracą z Amerykańską Agencją Ochrony Środowiska (US EPA), jak też wykonanymi wspólnie projektami z modelowania jakości wód i wpływu zanieczyszczeń punktowych i obszarowych, co umożliwiło wówczas zakup zaawansowanego sprzętu komputerowego, specjalistycznego oprogramowania (w tym GIS), wyszkolenie personelu w USA i realizację międzynarodowych projektów o charakterze komercyjnym.

Podsumowaniem działalności w tej dziedzinie, była praca dotycząca zastosowania modeli matematycznych i systemów informacyjnych w ochronie wód przed zanieczyszczeniem w dorzeczach/zlewniach [14], natomiast modelowania zanieczyszczeń obszarowych praca [15]. Stan wód powierzchniowych w Polsce, w latach 2011-2016, przedstawia praca [16].

### 13.4. Podsumowanie

W 2019 roku, Senat RP zatwierdził przejście monitoringu stanu wód z układu wojewódzkiego na układ w zlewniach i tym samym, po czterdziestu latach, spełnił się postulat ekspertów amerykańskich. Niewątpliwym jest, że krajowy system monitoringu wód, dążąc do ujednoczenia z monitoringiem unijnym, musi rozwijać się dalej, jako zintegrowana całość i we wszystkich kierunkach jego elementów. Związane jest to również z nieodpowiednim stanem jakości wód powierzchniowych, stwierdzonym przykładowo w 2018 roku w ramach PMS Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. W styczniu 2021 roku, nastąpił kolejny krok w sprawie reformowania monitoringu wód w Polsce, nastąpiło otwarcie Krajowego Laboratorium Referencyjnego do spraw Jakości Wód Powierzchniowych, którego zadaniem jest zapewnienie nadzoru nad jakością badań i analiz w zakresie wód powierzchniowych wykonywanych przez Centralne Laboratorium Badawcze i inne jednostki.

### Bibliografia

1. Zieliński J., Gromiec M.J.: Koncepcja monitoringu jakości wód – wody powierzchniowe płynące, jeziora, wody gruntowe, wody morskie, s. 99-108. W: Materiały VII Sympozjum PK IAWPRC pt. Metody badań i oceny jakości wód powierzchniowych [2], (red M.J. Gromiec). Warszawa 1989, s. 304.
2. Kinney W.L. Mckee G.D.: Ocena wód powierzchniowych w Polsce, s.109-120. W: Materiały VII Sympozjum pt. Metody badań i oceny monitoringu jakości wód powierzchniowych [2], (red. M.J. Gromiec). Warszawa 1989, s. 304.
3. Gromiec M.J.: Główne problemy we wdrażaniu ramowej dyrektywy Wodnej do praktyki podsystemu monitoringu wód Państwowego Monitoringu Środowiska. Ekspertyza dla Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Warszawa, grudzień 2001.



4. Praca zbiorowa pod kierunkiem Marka Gromca: Trendy zmian jakości wód rzek i jezior. Wydawca Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2005, s. 198.
5. Gromiec M., Dojlido, J. (red.): Zmiany w wybranych zbiornikach wodnych. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, 2006, s. 136.
6. Gromiec M. J., Jansen J.K. (Eds.): Controlling Non-Point pollution in Polish Catchments. Based on Final report for DANCEE/NFOŚiGW. DHI – Water and Environment. Publisher DHI W&E/ IM&WM. Copenhagen-Warsaw 2005.s.182.
7. Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca: Zastosowanie GIS w meteorologii i gospodarce wodnej, Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2006, s.273.
8. Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca: Systemy podejmowania decyzji w gospodarce wodnej – Przykłady zastosowań, Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2006, s. 309.
9. Gromiec M. J., Nielsen D. J. (Eds.): Automatic Water Quality Monitoring and Warning System – Theory and Practice. DHI – Water and Environment, Denmark, Institute for Meteorology and water Management-Poland, Municipal Company for Water Supply and Sewerage of the City of Warsaw. Publisher IMWM/ PNC IWA, Warsaw-Aarhus 2006, pp. 261.
10. Gutowska-Siwiec L., Gromiec M.J.: System pilotowy automatycznego monitoringu ujęć wody dla miasta stołecznego Warszawy, s.157-173 W: M.J. Gromiec (ed.) Ochrona ujęć wody przed zanieczyszczeniem-Poprawa jakości wody dla Warszawy. Wydawca MPWiK w m st. Warszawie S.A. Warszawa 2007, s. 301.
11. Praca zbiorowa pod redakcją M. Gromca, J. Dojlido, J. Kloze: System informacyjny o zlewni Świder. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2006, s.160.
12. Gromiec M.J. (red.): Modelowanie matematyczne wód podziemnych przykłady zastosowań. Wydawca Europejskie Centrum Ekologiczne/PC IWA, Warszawa 2007, s. 421.
13. Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca: Systemy informacyjne w zlewniowej gospodarce wodnej. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2008, s.496
14. Gromiec M.J.: Zastosowanie modeli matematycznych i systemów informacyjnych w zlewniowej ochronie wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2008, s.136.
15. Gromiec M.J.: Modelowanie matematyczne zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia rolniczego – Wdrażanie dyrektywy azotanowej. Monografie Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania. Warszawa 2011, s.222.
16. Ciećko P., Panek P.: Zanieczyszczenia wód w Polsce – Stan śródlądowych powierzchniowych i podziemnych, s. 58-80. W: M. Gromiec, L. Pawłowski (ed.) Zanieczyszczenie wód w Polsce – Stan, przyczyny, skutki. Raport. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN nr 164. Lublin 2019, s. 107.
17. Gromiec M.: Rozwój monitoringu stanu wód w Polsce. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 7-8, 19-22, 2020.

## 14. Zagrożenia jakości wody i wybrane rozwiązania

W rozdziale przedstawiono główne zagrożenia związane z jakością wody w formie wybranych rodzajów zanieczyszczeń, takich jak: związki organiczne, związki azotu i fosforu, substancje toksyczne, mikroorganizmy chorobotwórcze oraz nowe rodzaje zanieczyszczeń. Zaproponowane rozwiązania obejmują: zapobieganie zanieczyszczeniom, nowoczesne technologie uzdatniania wody, oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych. Rozważono możliwość osiągnięcia dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych w Polsce do końca 2015 roku. Komitet Badań nad Zagrożeniami związanymi z Wodą przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk (PAN) opracował raport, który zawierał identyfikację zagrożeń związanych z wodą, w tym między innymi problemy związane z niedostateczną jakością wody. Problemy te zostały przedstawione w rozdziale raportu, który został opublikowany w czasopiśmie Nauka Nr 1, 2014 [1]. Niniejszy rozdział stanowi rozszerzoną część opublikowanego rozdziału 3 tego raportu, która została przygotowana przez autora dla wybranych rodzajów zanieczyszczeń wraz z propozycjami rozwiązań.

### 14.1. Występujące zagrożenia

**Związki organiczne.** Do zanieczyszczeń chemicznych należą między innymi zanieczyszczenia organiczne stanowiące tysiące związków. W przypadku ścieków pochodzenia bytowo-gospodarczego substancje organiczne zazwyczaj są rozkładalne biologicznie. Biologicznie rozkładalne substancje organiczne, które wywierają niekorzystny wpływ na bilans tlenu wód, znalazły się jednak na ostatnim miejscu wskaźnikowej listy najważniejszych zanieczyszczeń Ramowej Dyrektywy Wodnej – RWD (2000/60/WE). Takie umiejscowienie tej formy zanieczyszczeń, spowodowane było faktem w znacznym stopniu rozwiązania problemu oczyszczania ścieków komunalnych w wielu starych państwach członkowskich Unii Europejskiej. Należy dodać, że substancje, które przyczyniają się do eutrofizacji wód zostały umieszczone na miejscu przedostatnim, prawdopodobnie z tego samego powodu.

Zupełnie inna sytuacja panuje w tym względzie w Polsce, gdzie realizacja postanowień dyrektywy ściekowej, na podstawie stosownego prawodawstwa krajowego, ujawniła, że potrzeby redukcji ładunku zanieczyszczeń organicznych rozkładalnych biologicznie, wynoszą ponad 41 milionów RLM (równoważna liczba mieszkańców). Wdrażanie Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), przyjętego przez Radę Ministrów w 2003 roku, i związana z tym budowa, rozbudowa i modernizacja ponad tysiąca oczyszczalni ścieków i sieci

kanalizacyjnych powoduje stopniową, ale znaczącą redukcję związków węgla, azotu i fosforu w aglomeracjach powyżej 2000 RLM. Powyższy program miał zostać realizowany do końca 2015 roku zgodnie z Traktatem Akcesyjnym, w którym stwierdzono, że unijne przepisy prawne w zakresie odprowadzania i oczyszczania ścieków komunalnych, określone w dyrektywie ściekowej, będą w Polsce w pełni obowiązywały od 31 grudnia 2015 roku.

Postęp technologiczny powoduje, że do wód wprowadzane są też niebezpieczne substancje organiczne pochodzenia przemysłowego, które stanowią istotną formę zagrożenia. Ważnym warunkiem osiągnięciem dobrego stanu wód, a szczególnie dobrego stanu ekologicznego, jest eliminacja czy ograniczenie zrzutów szeregu innych substancji organicznych, stanowiących istotne zagrożenie dla wód, z których znaczną część stanowią toksyczne substancje organiczne. Z punktu zagrożeń istotne są szczególnie organiczne zanieczyszczenia refrakcyjne, które nie ulegają rozkładowi biologicznemu przez mikroorganizmy lub też rozkładane są w niewielkim stopniu, w związku z tym nie podlegają biologicznemu oczyszczaniu ścieków w oczyszczalniach komunalnych i przemysłowych. Stanowi to wyzwanie dla technologii uzdatniania wody i oczyszczania ścieków.

**Związki azotu i fosforu.** Azot i fosfor oraz ich związki odgrywają znaczną rolę w zanieczyszczeniu wód i zaliczane są do podstawowych substancji biogennych. Związki azotu wprowadzane są do wód zarówno ze źródłami punktowymi (w postaci ścieków), jak również ze spływami obszarowymi i opadami atmosferycznymi. Przemiany związków azotowych w środowisku wodnym są dość złożone. Azot nieorganiczny występuje w dziewięciu formach, w tym najczęściej jako związki:  $\text{NH}_4^+$ , azotyny, azotany. Amoniak utleniany jest, w warunkach tlenowych, w obecności bakterii *Nitrosomonas* do azotynów, a następnie, w obecności bakterii *Nitrobacter* do azotanów, w procesie nityfikacji. Natomiast w warunkach beztlenowych następuje redukcja azotynów i azotanów, w obecności bakterii denitryfikacyjnych, do tlenków azotu lub do wolnego azotu, w procesie denitryfikacji. W wodach naturalnych występuje naturalny obieg cykliczny: rośliny wodne czerpią azot w postaci azotanów i przetwarzają w swoich organizmach na substancje białkowe. Białko roślinne staje się pokarmem dla organizmów zwierzęcych, które nie mają zdolności bezpośredniego przyswajania nieorganicznych związków azotowych. W procesach biochemicznych organizmów zwierzęcych białko zostaje spalane, a azot wydzielony jest w postaci związków azotowych, które wracają do wód naturalnych. Azotany w glebie asymilowane są zarówno przez rośliny jak i drobnoustroje. Część azotanów zostaje wypłukana z gleby i przedostaje się do wód, a część azotu przyswajalnego wraca do atmosfery w wyniku denitryfikacji.

Związki azotowe, w ich różnych formach i w zależności od stężenia i warunków środowiskowych stanowią zagrożenie, ponieważ mogą stymulować rozwój glonów, obniżać poziom tlenu rozpuszczonego, powodować toksyczne działania dla organizmów wodnych, wywierać wpływ na skuteczność dezynfekcji chlorem, ograniczać możliwość wtórnego wykorzystania wody i stanowić potencjalne zagrożenia zdrowotne. Również azotany w wodzie do picia, w dużych stężeniach są niebezpieczne dla zdrowia ludzi, a szczególnie niemowląt.

Fosfor i jego związki, w różnych formach, przedostają się do wód powierzchniowych zarówno ze zlewni jak i atmosfery oraz z wewnętrznych źródeł skumulowanych w postaci osadów dennych i organizmów. Źródła zewnętrzne to głównie ścieki miejskie i przemysłowe oraz spływy powierzchniowe. W ściekach oczyszczonych podstawową formę, łatwo przyswajalną, stanowią fosforany rozpuszczone, które pobierane są przez rośliny. Dlatego, w śródlądowych ekosystemach wodnych często fosfor jest czynnikiem limitującym.

**Substancje toksyczne.** Substancje toksyczne stanowią szczególnie groźną grupę zanieczyszczeń wody, związaną z zagrożeniami dla zdrowia i życia ludzkiego. RWD szczególny nacisk położyła na tego typu zagrożenia dla wód, wyróżniając substancje niebezpieczne i substancje priorytetowe. Substancje niebezpieczne zostały zdefiniowane jako substancje (lub grupy substancji), które są toksyczne, trwałe i zdolne do bioakumulacji, oraz inne substancje (lub grupy substancji), które wzrastają do poziomu budzącego niepokój. Substancje priorytetowe zostały również określone w RDW, a wśród nich występują priorytetowe substancje niebezpieczne.

Wskaźnikowa lista najważniejszych zanieczyszczeń, wśród której największą grupę stanowią substancje toksyczne stanowi Załącznik VIII RDW. Obejmuje takie zanieczyszczenia jak: związki organohalogenne, związki organofosforowe, związki cyanoorganiczne, substancje o udowodnionych właściwościach rakotwórczych lub mutagennych, trwałe węglowodory, toksyczne substancje organiczne o właściwościach biokumulujących, cyjanki, metale i ich związki, arsenik i jego związki, biocydy i środki ochrony roślin, substancje w zawieszynie.

RDW jasno wskazała, że istotne są określone działania przeciwko zanieczyszczeniom stanowiącym zagrożenie dla środowiska wodnego lub poprzez środowisko wodne, szczególnie dla wód wykorzystywanych do poboru wody do picia. Zanieczyszczenia te winny być progresywnie redukowane, natomiast zrzuty emisje i straty priorytetowych substancji niebezpiecznych winny być zaprzestane lub stopniowo wyeliminowane. Ważnymi wskazówkami w tym względzie są: lista priorytetowych substancji, które stanowią znaczne ryzyko dla środowiska wodnego lub przez środowisko wodne, biorąc pod uwagę ich zagrożenie ekotoksyczne

oraz zagrożenie toksyczne dla ludzi poprzez drogi ekspozycji wodnej, jak też zidentyfikowanie priorytetowych substancji niebezpiecznych.

Lista 33 substancji priorytetowych została ustalona na podstawie decyzji Nr 2455/2001/WE. W dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/105/WE ustalone zostały środowiskowe normy dla 33 substancji priorytetowych i 8 innych zanieczyszczeń, jak też podano wykaz substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej. Lista substancji priorytetowych rozszerza się okresowo wraz z dokładniejszym rozpoznaniem sytuacji w tym względzie w Unii Europejskiej.

**Mikroorganizmy chorobotwórcze.** W wodzie występują wszystkie grupy organizmów chorobotwórczych, w tym między innymi: bakterie, wirusy, pierwotniaki, grzyby i helminty (robaki pasożytnicze). Szczególne zagrożenie stanowią patogenne bakterie i wirusy. Przykładami bakterii chorobotwórczych są drobnoustroje, takie jak: Salmonella, Shigella, Typhus, Parathyphus, Cholera, Mycobacterium, Campylobacter, Yersina. Zagrożenia zdrowotne dla ludzi mogą powodować wirusy, przykładowo: Coxsackievirus, Enterowirus, Rotavirus, Adenovirus, Poliovirus, Hepatitis – A i E. Istotnym jest, że w systemach zaopatrzenia ludności w wodę do celów bytowo-gospodarczych mikroorganizmy mogą występować również w postaci błon biologicznych w przewodach, co może jeszcze dalej potęgować stopień zagrożenia.

Woda skażona jest patogennymi bakteriami, wirusami i innymi patogennymi drobnoustrojami z różnych źródeł, takich jak: ścieki bytowo-gospodarcze, ścieki ze szpitali (szczególnie ze szpitali i oddziałów chorób zakaźnych), ścieki z ferm hodowlanych, odcieki ze składowisk odpadów, wody opadowe i roztopowe. Obecność tych chorobotwórczych drobnoustrojów w wodzie jest niebezpieczna, ponieważ stanowią poważne zagrożenie epidemiologiczne dla człowieka, wywołując takie choroby wywołane przez bakterie jak: tyfus, czerwonka, cholera, dur brzuszny, gruźlicę, zakażenia żołądkowo-jelitkowe, schorzenia skóry, czy też żółtaczka zakaźna powodowaną przez wirusy.

W przypadku bakterii chorobotwórczych, rozprzestrzenianie tyfusu i paratyfusu (duru brzuszego) powodują Salmonella typhi i Salmonella paratyphi, czerwonkę wywołują pałeczki Shigella flexneri, chorobę cholery – Vibrio Cholera, zapalenie błony śluzowej żołądka – Helicobacter pylori, a ostrą biegunkę wywołuje patogenna Escherichia coli (pałeczka okrężnicy). Mikroorganizmy Legionella powodują niezwykle groźną chorobę – legionelozę, stanowiącą na świecie jedno z najistotniejszych zagrożeń infekcyjnych.

Przez wodę następuje również przenoszenie się wirusów pochodzenia ludzkiego i zwierzęcego, wywołujących poważne choroby, przykładowo: Hepatitis-A i Hepatitis-E odpowiedzialne są za wirusowe zapalenie wątroby, Poliovirus

powoduje chorobę Heinego-Medina, Rotavirus i Adenovirus – zapalenie żołądka i jelita cienkiego. Nie jest wiadome, jak będą się zachowywały przyszłe wirusy odzwierzęce, w tym nowe mutacje koronawirusów (patrz rozdział 26).

Przykłady groźnych pierwotniaków występujących w wodzie stanowią *Cryptosporidium* i *Gardia*. Istnieje kilka tysięcy pierwotniaków, ale niewielka ilość stanowi poważne zagrożenie. *Cryptosporidium* wywołuje jedną z najbardziej rozpowszechnionych na świecie infekcji żołądkowo-jelitowych, którą można się zarazić przez spożycie wody. Największe znaczenie posiada *Cryptosporidium parvum*, które jest szczególnie niebezpieczne dla małych dzieci, kobiet w ciąży oraz osób o obniżonej odporności. Natomiast zakażenia *Gardią lambia* następuje przez cysty, które również przenoszone są przez wodę i stanowią zagrożenia dla zdrowia ludzi. Groźne są również *Entamoeba histolytica* powodująca czerwonkę amebową oraz Ameby – szczególnie z gatunku *Acanthamoeba*. Pierwotniaki chorobotwórcze nie są limitowane w wodzie, a były już przecież powodem wielu epidemii w różnych państwach świata.

Powyższe mikroorganizmy odporne są na działanie tradycyjnych metod dezynfekcji opartych na chlorowaniu i wymagają dużego stężenia chloru i długiego czasu kontaktu, co może prowadzić do powstawania niebezpiecznych produktów ubocznych. Istotnym zagrożeniem jest również ciągle rosnąca lista organizmów chorobotwórczych o wysokiej patogenności, które występujących w wodzie i nie poddają się inaktywacji lub zniszczeniu za pomocą konwencjonalnych sposobów dezynfekcji.

**Nowe rodzaje zanieczyszczeń.** Rozwój cywilizacyjny powoduje powstawanie nowych rodzajów zanieczyszczeń, które przedostają się do wód. Szczególnie narasta zagrożenie związane z przedostawaniem się substancji farmakologicznych do systemów kanalizacyjnych. Źródła farmaceutyków w ściekach to między innymi: przemysł farmaceutyczny, szpitale i zakłady stomatologiczne, zakłady weterynaryjne, jak też gospodarstwa domowe. W tych ostatnich, do ścieków odprowadzane są stosunkowo często niespożyte i/lub przeterminowane środki lecznicze.

Wiele substancji leczniczych nie jest usuwane w istniejących oczyszczalniach ścieków i przedostaje się zarówno do wód podziemnych i powierzchniowych. Między innymi do wód powierzchniowych przedostają się substancje z grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych oraz estrogeny (żeńskie hormony płciowe), które są składnikami środków antykoncepcyjnych. Stanowi to zagrożenie dla równowagi ekosystemów wodnych. W Polsce obecność środków farmakologicznych stwierdzono nie tylko w wodach dużych rzek, takich jak Wisła i Odra, rzek średnich, takich jak Warta, jak też rzek całkiem małych.



Powyższe może stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi. Przykładowo, ponieważ estrogeny kumulują się w organizmach wodnych, to poprzez spożycie ryb mogą przedostawać się do organizmu ludzkiego. Nadmiar tych substancji prowadzi do uszkodzenia płodów i może przyczyniać się do wzrostu zachorowań na raka piersi i nowotworów jąder. Równie szkodliwa jest obecność substancji farmakologicznych w wodzie do picia, szczególnie dla dzieci. Zagrożenie stanowią środki stosowane w chemioterapii występujące w wodach naturalnych czy w wodzie do picia, ponieważ mają charakter mutagenny, teratogenny, embriotoksyczny i genotoksyczny.

Ważne zagrożenia powodują antybiotyki występujące w różnych rodzajach ścieków, które przedostają się do środowiska wodnego. Należą do nich antybiotyki stosowane zarówno w leczeniu ludzi, jak i wykorzystywane w leczeniu zwierząt w gospodarstwach hodowlanych, przykładowo w fermach trzody chlewnej i stawach hodowli ryb, które powodują wiele groźnych skutków. Inne zagrożenie stanowią hormony, które powodują między innymi poważne dysfunkcje seksualne u zwierząt wodnych i ryb, idące często w kierunku feminizacji. Zwiększa się też zagrożenie związane z chemioterapeutykami mających groźny wpływ na organizmy wodne, jak też z środkami higienicznymi i mikroplastykami.

## 14.2. Wybrane rozwiązania

**Zapobieganie zanieczyszczeniom.** Ochrona wód przed zanieczyszczeniem winna być nie tylko związana z racjonalnym gospodarowaniem zasobami wodnymi oraz przywracaniem środowiska wodnego do wymaganego prawem stanu, ale również z zapobieganiem zanieczyszczeniom. Zapobieganie zanieczyszczeniom staje się coraz istotniejszym rodzajem środków ochronnych i winno stanowić istotną część strategii ochrony wód przed zanieczyszczeniem, w myśl zasady „łatwiej zapobiegać niż leczyć”. Ważna jest też restrykcyjna kontrola zanieczyszczeń u źródła.

Zapobieganie zanieczyszczeniom jest ściśle związane z racjonalizacją gospodarki w zakładach przemysłowych. Istnieją w tym względzie szerokie możliwości ograniczenia zużycia wody i zmniejszenia ilości odprowadzanych ścieków. Przykładowo, bardzo duża część wody (70%) w Polsce, pobierana przez przemysł, zasila obiegi chłodnicze. Zrzucając w tym przypadku ścieki, zwane często umownie wodami czystymi, mają znacznie podwyższoną temperaturę powodującą często groźne termiczne zanieczyszczenie wód, szczególnie w zbiornikach wodnych. Równocześnie, wody te są w większości stosunkowo łatwe do oczyszczenia, wtórnego użycia lub do zamykania obiegów.

Kierunkiem priorytetowym jest ogólnie rzecz biorąc recyrkulacja wody w przemysłowych systemach wodnych, związana z wielokrotnym użytkowaniem wody



raz użytej do obiegu i zamykaniem obiegów. Niewątpliwie prowadzi nie tylko do ograniczenia zużycia wody i zmniejszenia zużycia wody na jednostkę produkcji, ale również do zmniejszenia ilości zrzucanych ścieków. Ważna jest również możliwość wtórnego zużycia wody do różnych celów. Istnieją liczne możliwości racjonalizacji gospodarowania wodą w przemyśle. Przykładowo, takich jak: unowocześnianie technologii produkcji i wprowadzanie wodo-oszczędnych i energooszczędnych rozwiązań, zastępowanie wody świeżej przez oczyszczone ścieki, nawet spoza danego zakładu przemysłowego, jak też wiele innych. Często duże skutki przynosi często stosunkowo prosta modernizacja urządzeń gospodarki wodno-ściekowej i sieci przesyłowych oraz zainstalowanie systemu urządzeń kontrolno-pomiarowych.

Zapobieganie zanieczyszczeniom ściśle łączy się z zagadnieniem czystszej produkcji, która wymaga zintegrowanych działań w odniesieniu do procesów i produktów zmierzających z jednej strony do zwiększenia efektywności produkcji, a z drugiej do redukcji ryzyka dla ludzi i środowiska wodnego. Zmierza to do między innymi do zapobiegania i ograniczania u źródła powstawania ścieków i odpadów stałych, jak też do oszczędności zużycia wody, energii i innych zasobów naturalnych w procesach produkcyjnych.

Szczególą rolę winna odgrywać eliminacja toksycznych materiałów i surowców z procesów produkcyjnych, jako ważny etap zapobiegania przed ich dalszym przedostawaniem się do zasobów wodnych. Istotną rolę odgrywa w tym względzie rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Nr 1907/2006/WE w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosownych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH). Ma zapewnić ochronę życia ludzkiego przed zagrożeniami przez zapewnienie zarządzania ryzykiem związanym ze stosowanymi substancjami chemicznymi, a szczególnie zachęcić do zastępowania substancji niebezpiecznych, mających właściwości rakotwórcze i mutagenne oraz działającymi szkodliwie na rozrodczość, innymi substancjami.

**Nowoczesne technologie uzdatniania wody.** Technologia uzdatniania wody stanowi jeden z głównych czynników kształtujących rozwój cywilizacyjny. Efektywność i niezawodność stacji uzdatniania wody uznawana jest za podstawę poziomu życia, jak i zdrowia ludności danego państwa.

Woda do picia musi nie tylko być pozbawiona szkodliwych substancji, ale też posiadać skład korzystny dla zdrowia. Dlatego wymagania w stosunku do jakości wody do picia ciągle rosną. Rozwój systemów centralnego zaopatrzenia w uzdatnioną wodę na świecie następuje niezwykle dynamicznie, co między innymi związane jest z szybko postępującą urbanizacją i powstawaniem rozwiniętych aglomeracji miejsko-przemysłowych. Rośnie również gwałtownie zapotrzebowanie na

wodę ultra czystą, niezbędną dla wielu nowoczesnych przemysłów, w tym między innymi przemysłu elektronicznego i farmaceutycznego.

Powyższe powoduje, że rozwiązania techniczne i technologie uzdatniania wody rozwijają się na świecie bardzo dynamicznie. Istnieje szereg nowoczesnych rozwiązań technicznych, począwszy od ujęć wód powierzchniowych i podziemnych. Przykładami są samoczyszczące sita ssawne stosowane do wód powierzchniowych, czy też nowe rozwiązania filtrów do studni głębinowych przeznaczone do ujęć wód podziemnych. W technologii uzdatniania wody znaczny postęp nastąpił w urządzeniach opartych przykładowo na takich procesach jak: filtracja, koagulacja, demineralizacja, sorpcja i dezynfekcja promieniami ultrafioletowymi, którą, z uwagą dla eliminację potencjalnych zagrożeń dla zdrowia i życia ludzi, przedstawiono szczegółowo w rozdziale 25, w zastosowaniu do wody i ścieków.

Technologie i urządzenia do dezynfekcji wody i ścieków za pomocą promieni ultrafioletowych (UV) rozwijają się na świecie niezwykle dynamicznie. Związane jest to między innymi z zabezpieczeniem jakości wody do picia jak i jakości zasobów wodnych, szczególnie pod względem bakteriologicznym. Zaletami tych technologii, w stosunku do metod tradycyjnych, jest fakt, że zostały oparte o proces fizyczny, który nie zmienia smaku i zapachu wody i nie tworzy szkodliwych produktów ubocznych dezynfekcji. Dodatkowo eliminuje się potrzebę transportu, przechowywania i wykorzystywania potencjalnie groźnych chemikaliów. W przypadku niektórych groźnych mikroorganizmów, takich jak *Cryptosporidium* czy *Gardia*, promieniowanie UV jest znacznie skuteczniejszym sposobem dezynfekcji niż metody chemiczne. Urządzenia do niedawna kojarzone były z małymi i średnimi wodociągami, jednak ciągły postęp w dziedzinie lamp UV spowodował, że są również stosowane na szeroką skalę także na dużych wodociągach. Rozwój technologii UV związany jest przede wszystkim z opracowaniem coraz to nowszych, dłużej pracujących i efektywniejszych promienników, co przyczynia się do tworzenia bardziej kompaktowych i energooszczędnych systemów.

Sprawia to, że liczba zainstalowanych reaktorów UV na świecie, jak i w Polsce, systematycznie wzrasta. W Polsce istnieją instalacje do dezynfekcji wody do picia promieniami UV. Przykładami są instalacje wykonane w Gdyni na Stacji Uzdatniania Wody (SUW) Reda – gdzie zainstalowany jest największy w Polsce reaktor UV o wydajności do 48 tysięcy m<sup>3</sup>/d, w Kaliszu na SUW Winiary (8 tysięcy m<sup>3</sup>/d), na Ujęciu Lis (16 tysięcy m<sup>3</sup>/d), jak też na SUW w Łowiczu, gdzie w 2010 roku zainstalowano dwa reaktory UV o łącznej wydajności do 14,4 tysięcy m<sup>3</sup>/d. Na świecie istnieją znacznie większe instalacje UV, na przykład SUW w Saint Petersburgu o łącznej wydajności 1 584 tysięcy m<sup>3</sup>/d oraz SUW w Moskwie, gdzie pracuje instalacja z lampami niskociśnieniowymi o łącznej wydajności 1 045 tysięcy m<sup>3</sup>/d. Największą instalacją UV jest SUW w Nowym

Jorku o wydajności 8 400 tysięcy m<sup>3</sup>/d. Należy podkreślić, że istniejące systemy dezynfekcji wody charakteryzują się bezpieczeństwem i skutecznością, szybkim działaniem oraz brakiem ubocznych produktów dezynfekcji. Potwierdzona jest również skuteczność działania urządzeń UV na organizmy odporne na działanie chloru.

W stosunku do innych technologii uzdatniania wody należy podkreślić szczególny postęp, który następuje w odsalaniu wód zasolonych. Obecnie istnieje na świecie 14 tysięcy zakładów odsalania w 150 państwach, zainstalowana pojemność odsalania to 52 mln m<sup>3</sup>/d, a zakontraktowana – 63 mln m<sup>3</sup>/d. Aktualnie 62% odsalania dotyczy wody morskiej, 19% – odsalania wód zasolonych, 8% – odsalania wód zasolonych, a 5% – odsalania ścieków. Koszty odsalania ciągle spadają i obecnie wynoszą średnio od 0,7 do 1,1 USD/m<sup>3</sup>, jednakże innowacje spowodowały, że przykładowo w Singapurze koszty te wynoszą tylko 0,48 USD/m<sup>3</sup>. W Polsce ciągle istnieje nierozwiązany problem wód zasolonych zrzucanych z kopalni węgla kamiennego do wód Wisły i Odry.

Przykładami światowych najnowszych obecnie innowacyjnych technologii uzdatniania wody są niewątpliwie: nanotechnologie oraz technologie membranowe wspomagane przez aquapryony. Niezbędne są nowe technologie dla ochrony wód przy poszukiwaniu i wydobyciu gazu łupkowego.

### **Nowoczesne rozwiązania oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych.**

Technologie oczyszczania ścieków stają się w zasadzie technologiami oczyszczania wody i ścieków uważanych za wody zużyte. Następuje dynamiczny rozwój technologii, rozwiązań technicznych i urządzeń w tym zakresie. Technologie oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych winny bowiem nadążać za powstawaniem coraz to nowych zanieczyszczeń oraz za przyjętymi nowymi strategiami ochrony zasobów wodnych. Konieczność odpowiedniej strategii ochrony wód przed zanieczyszczeniami wynika ze wspólnotowej polityki wodnej, wyrażonej w RDW, jak też z zaostrzającego się prawodawstwa unijnego związanego z ochroną wód słodkich i morskich.

Obecnie, nowoczesne rozwiązania w oczyszczaniu ścieków komunalnych oparte są głównie o technologie usuwania substancji biogenych (azotu i fosforu) w reaktorach zawieszoną biomasą. W tym względzie, istnieje wiele zintegrowanych biologicznie systemów redukcji związków organicznych i biogenych, opartych na metodzie osadu czynnego. Pojawiają się w tym względzie nowe rozwiązania procesowe, czego przykładem może być proces Anammox polegający na utlenieniu azotu amonowego do azotu gazowego w warunkach beztlenowych, gdzie akceptorem elektronów są azotyny. Wśród zintegrowanych systemów biologicznych, wykorzystujących różne konfiguracje reaktorów z zawieszoną biomasą do

usuwania związków węgla, azotu i fosforu, można wymienić przykładowo takie systemy jak: Banderpho, A2O, UTC, UCTM, SBR.

Stosunkowo często stosowane są reaktory o działaniu sekwencyjnym (SBR), w których następuje kolejna sekwencja różnych warunków. Na reaktorach sekwencyjnych została oparta nowa technologia Nereda, w której zamiast tradycyjnych kłaczek osadu czynnego zastosowano tlenowe bakteryjne granule, posiadające między innymi wspaniałe właściwości sedymentacyjne. Pozwala to nie tylko na efektywną redukcję związków węgla, azotu i fosforu, ale również na mniejszą powierzchnię reaktorów, mniejsze zużycie energii elektrycznej, co powoduje niższe nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne niż w reaktorach tradycyjnych. Technologia Nereda może być zastosowana zarówno do oczyszczania ścieków komunalnych jak i ścieków przemysłowych, a pierwsza oczyszczalnia komunalna w skali technicznej, dla ścieków miejsko-przemysłowych, została oddana do użytku w 2012 roku w Holandii (patrz rozdział 16).

Innymi przykładami zintegrowanych systemów biologicznych są systemy do usuwania związków węgla i azotu (oparte przykładowo o technologię Biodenitro, Carrousel, Orbal), czy też systemy do usuwania związków węgla i fosforu (przykładowo takie jak Phoredox, Phostrip, A/O). Ponieważ samo biologiczne usuwanie fosforu, w reaktorach z osadem czynnym, nie gwarantuje wysokiego stopnia redukcji, to często stosuje się strącanie fosforu za pomocą soli metali. Strącanie chemiczne związków fosforu może być wprowadzone w różnych miejscach biologicznego oczyszczania, w postaci strącania bezpośredniego, symultanicznego i końcowego. Powyższe sposoby umożliwiają stosowanie zintegrowanych systemów biologiczno-chemicznych.

Następuje również znaczny rozwój reaktorów z błoną biologiczną do oczyszczania ścieków, które przeżywają na świecie swój renesans i występują w różnych układach technologicznych. Pierwsza grupa to reaktory tlenowe z błoną biologiczną, przykładowo takie jak: złoża biologiczne aktywowane, złoża biologiczne z wtórnym procesem kontaktowym (system TF/SC), złoża nityfikacyjne z kontrolowaną błoną, czy złoża denityfikacyjne. Druga grupa to reaktory bez-tlenowe z błoną biologiczną, takie jak: reaktory z ruchomym lub rozszerzającym się wypełnieniem, reaktory z recyrkulowanym wypełnieniem i reaktory fluidalne. Powstają również różnego rodzaju reaktory hybrydowe, wykorzystujące zarówno zalety błon biologicznych jak i biomasy zawieszanej. Przykładem jest reaktor UASB, który w pewnym stopniu można uznać za urządzenie hybrydowe pomiędzy reaktorem z osadem utrzymywanym w zawieszeniu a reaktorem z błoną biologiczną. Rola systemów hybrydowych w technologii oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych stale rośnie. Reaktory z błoną biologiczną przedstawiono w rozdziale 17.

Następuje istotny rozwój technik i technologii membranowych, w tym mikrofiltracji, ultrafiltracji, nanofiltracji, odwróconej osmozy i elektrodializy. Związane jest to między innymi z rosnącą rolą odnowy wody ze ścieków, jak też usuwaniem nowych groźnych dla zdrowia ludzkiego zanieczyszczeń, przykładowo leków występujących w ściekach.

Na świecie rośnie również rola dezynfekcji biologicznie oczyszczonych ścieków, co przejawia się stale wzrastającą liczbą oczyszczalni z zainstalowanymi urządzeniami do dezynfekcji promieniami UV. Powyższe rozwiązanie stanowi ważne zabezpieczenie zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami mikrobiologicznymi. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wód powierzchniowych i podziemnych ujmowanych do zaopatrzenia ludności w wodę. Dlatego dezynfekcja oczyszczonych ścieków jest szczególnie istotna w zlewniach zbiorników wodnych wykorzystywanych do celów zaopatrzenia w wodę i do rekreacji. W przypadku wykorzystywania zbiorników wodnych do rekreacji, możliwa jest dezynfekcja promieniami UV tylko w okresie umożliwiającym korzystanie z wód do tych celów. Dezynfekcja końcowa ścieków stanowi wówczas barierę, która eliminuje aktywne mikroorganizmy chorobotwórcze. Równocześnie dezynfekcja ścieków promieniami UV umożliwia znaczne poszerzenie możliwości wtórnego wykorzystania oczyszczonych ścieków do różnych celów, mających na celu powiększenie dyspozycyjnych zasobów wodnych. W Polsce brak jest jednak stosownych przepisów dotyczących dezynfekcji ścieków i należy to uzupełnić w naszym prawodawstwie wodnym. Obecnie, decyzja o zainstalowaniu tego typu urządzeń zależy wyłącznie od wiedzy i dalekowzroczności kadry kierowniczej przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych.

Ciągle zwiększająca się ilość komunalnych osadów ściekowych w Polsce związana z realizacją Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych, jak również zakaz ich składowania w niedługim okresie czasu (od 1 stycznia 2016 roku), sprawia, że przeróbka osadów stała się ważnym zagadnieniem ekologicznym, technicznym i ekonomicznym. Niewłaściwe zagospodarowanie dużych ilości komunalnych osadów ściekowych niewątpliwie może stać się problemem dla zdrowia ludzi i zwierząt, w związku z zagrożeniami chorobotwórczymi i możliwościami skażenia gleb metalami ciężkimi i substancjami toksycznymi. Dlatego konieczne jest opracowanie Krajowego Programu Zagospodarowania Komunalnych Osadów Ściekowych, będącego uzupełnieniem Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych [2]. Program osadowy, dla obniżenia kosztów jego realizacji, winien uwzględnić możliwość budowy regionalnych centrów unieszkodliwiania osadów dla kilku aglomeracji, tam gdzie będzie to uzasadnione ekonomicznie i innymi względami.

Podstawowe kierunki przeróbki osadów ściekowych, głównie dla małych i średnich miast, to ich zagęszczanie i odwadnianie, a następnie termiczne przekształcanie

za pomocą procesów suszenia i spalania. Szczególnie, te ostatnie rozwiązania technologiczne powstały w większości za granicą. Przykładem nowoczesnego rozwiązania dla efektywnego odwadniania osadów jest technologia oparta o proces elektroosmozy, a dla suszenia osadów – suszarnie taśmowe w technologii DBS. Wysuszone osady mogą być współspalane w cementowniach. Pojawiły się również rozwiązania techniczne dla samodzielnego spalania wysuszonych osadów ściekowych, co powoduje konieczność unieszkodliwiania pozostałości po ich spalaniu. Istnieje potrzeba zastosowania w Polsce sprawdzonych technologii w powyższym zakresie.

Do Polski napływa szereg różnych zagranicznych urządzeń i rozwiązań technologicznych z zakresu oczyszczania ścieków, a szczególnie unieszkodliwiania osadów ściekowych, które powinny być przebadane przed ich wprowadzeniem w życie w warunkach krajowych. Rozpowszechnianie tych nowych rozwiązań powinno być też wynikiem sformalizowanego transferu urządzeń i technologii. Należy również stworzyć warunki dla rozwoju krajowego przemysłu urządzeń i technologii ochrony środowiska wodnego. Konieczne są bowiem dalsze innowacje techniczno-technologiczne związane z ochroną wód przed zanieczyszczeniem, szczególnie w zakresie: oczyszczania ścieków i odnowy wód ze ścieków, przeróbki osadów ściekowych.

### **Możliwość osiągnięcia dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych.**

Celem podstawowym prawodawstwa wspólnotowego jest osiągnięcie dobrego stanu dla wszystkich rodzajów wód w państwach członkowskich Unii Europejskiej. Celami środowiskowymi RDW jest bowiem osiągnięcie: dobrego stanu ekologicznego i dobrego stanu chemicznego dla wód powierzchniowych; dobrego potencjału ekologicznego i dobrego stanu chemicznego dla stojących odbiorników; dobrego stanu wód podziemnych (tj. dobrego stanu chemicznego i dobrego stanu ilościowego); dobrego potencjału ekologicznego i dobrego stanu chemicznego wód powierzchniowych w odbiornikach znacznie zmienionych.

Polska ustaliła termin osiągnięcia dobrego stanu wód do końca 2015 roku. Związane to było z wymogiem czasowym RDW, w której przyjęto za termin osiągnięcia dobrego stanu wód Wspólnoty okres 15-letni, od daty wejścia w życie tej dyrektywy. Polska wpisała do Prawa wodnego precyzyjnie powyższy termin, przyjmując datę 22 grudnia 2015 roku i na tym precyzja wykonania postanowień RDW się skończyła [3]. Komisja Europejska wskazała, w czerwcu 2008 roku, na bardzo wiele uchybień we wprowadzaniu RDW do Prawa wodnego i wezwała Polskę do ich usunięcia. W czerwcu 2010 roku Komisja Europejska skierowała do Polski tzw. uzasadnioną opinię wskazującą na wiele poważnych niedociągnięć, jak też skierowała w grudniu 2012 roku prośbę o konkretne decyzje aby uzdrowić



zaistniałą sytuację. Wyjaśnienia przedstawicielei Polski, złożone w Brukseli nie znalazły uznania Komisji Europejskiej, która już w dniu 21 lutego 2013 roku skierowała skargę do Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej.

Zarzuty formalne mogą dotyczyć spraw, nie tylko związanych z niewłaściwą transpozycją RDW do krajowego Prawa wodnego, ale również związanych z niewłaściwą realizacją postanowień implementacyjnych. Komisja Europejska wielokrotnie podnosiła sprawę nieprzestrzegania przez Polskę postanowień związanych z polityką jakości wód. Plany i programy dotyczące korzystania z wód, w tym między innymi związane z ochroną przeciwpowodziową, nie zostały właściwie skoordynowane z planami gospodarowania wodami w dorzeczach, a tym samym nie uwzględniają postanowień RDW. Równocześnie plany gospodarowania wodami dorzeczy nie spełniały koniecznych wymagań formalnych i merytorycznych. Niezwykle istotną sprawą było w tym przypadku niedostosowanie monitoringu jakości wód do wymagań wspólnotowych, szczególnie w zakresie monitoringu biologicznego wód, pozwalającego na prawidłową ocenę ich stanu ekologicznego.

RDW zmierza ciągle w kierunku stworzenia jednolitego i spójnego systemu stanu wód we Wspólnocie, co wymaga niewątpliwie dopasowywania monitoringu jakości wód w Polsce. Monitoring stanu jakości wód i monitoring zrzutów zanieczyszczeń są niezwykle istotne dla opracowania planów gospodarowania wodami dorzeczy oraz ich ochrony przed zanieczyszczeniami, poprzez ustanowienie programów działań, a następnie sprawdzania ich skuteczności. Brak jest monitoringu istotnych źródeł zanieczyszczeń, szczególnie zrzutów ścieków komunalnych i przemysłowych. Istotnym jest też ciągłe unowocześnianie skomputeryzowanego systemu informacyjnego o gospodarowaniu wodami. Plany gospodarowania wodami dorzeczy winny być wsparte szczegółową analizą wpływów działalności antropogenicznej na stan wód oraz analizą ekonomiczną wykorzystania wód i ich ochrony. Wymaga to poważnej analizy wpływu społeczno-gospodarczego na stan wód, a szczególnie dokładnego oszacowania wielkości zanieczyszczeń punktowych i zanieczyszczeń obszarowych. Należy podkreślić, że szczególne znaczenie w zanieczyszczeniu wód odgrywają zanieczyszczenia obszarowe pochodzenia rolniczego, jak i zanieczyszczenia obszarowe, które przedostają się do wód wraz ze spływami powierzchniowymi, spowodowanymi przez zdarzenia meteorologiczne.

Zagrożenia spowodowane zanieczyszczeniami obszarowymi są bardzo trudne do dokładnego badania i oszacowania wpływu na jakość wód oraz ich kontrolowania. Zanieczyszczenia obszarowe, podobnie jak zanieczyszczenia punktowe, zawierają substancje biogenne i toksyczne. Brak jest strategii dla redukcji substancji priorytetowych i niebezpiecznych. W zakresie ochrony zasobów wodnych.



Życie zweryfikowało politykę wodną opartą na założeniu, że Polska osiągnie dobry stan wód w wymaganym czasie, który zresztą dawno minął. Przyjmuje się, że to nastąpi do końca 2027 roku, ale wydaje się, że będzie trwać znacznie dłużej.

## **Bibliografia**

1. Gromiec M., Sadurski A., Zalewski M., Rowiński P.: Zagrożenia związane z jakością wody. NAUKA 1, 99-122, 2014.
2. Gromiec M.: Problem oczyszczania ścieków komunalnych i jego znaczenie dla zlewniowej ochrony wód w Polsce. Materiały Konferencji IGWP pt. Woda, ścieki i osady – problemy i propozycje rozwiązań. Wyd. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”. Warszawa, styczeń 2014.
3. Gromiec M.: Racjonalność w planowaniu ochrony jakości wód w ramach RDW. Gospodarka Wodna 12, 453-456, 2013.

## 15. Metoda osadu czynnego do oczyszczania ścieków

W rozdziale przedstawiono historię rozwoju najważniejszej obecnie metody biologicznego oczyszczania ścieków, mianowicie metody osadu czynnego, oraz podkreślono wagę kreowania innowacyjnych rozwiązań tej metody w nowoczesnej ochronie wód przed zanieczyszczeniem. W przeszłości, oczyszczanie ścieków koncentrowało się głównie na redukcji biochemicznego zapotrzebowania tlenu (BZT) i zawiesiny. Obecnie uwaga zwrócona jest również na substancje biogenne. Przedstawiono historię praktycznego zastosowania metody osadu czynnego do oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych. Nowe regulacje prawne nakładają ograniczenia nie tylko na substancje biogenne, ale także na szeroki zakres nowych zanieczyszczeń. W 2014 roku, świat uczcił 100-letnią rocznicę odkrycia metody osadu czynnego. Międzynarodowe Stowarzyszenie Wody (ang. International Water Association – IWA) zorganizowało specjalną międzynarodową konferencję poświęconą odkryciu i rozwojowi tej obecnie najważniejszej metody biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych [1].

### 15.1. Odkrycie metody osadu czynnego

Historia rozwoju metody osadu czynnego w Europie jest niezwykle interesująca. 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, stan Massachusetts, prowadzącą między innymi badania nad napowietrzaniem ścieków komunalnych. Po powrocie z USA do Anglii, poinformował o zaobserwowanych eksperymentach mgr Edwarda Ardena – chemika pracującego na oczyszczalni ścieków Davyhulme dla Manchesteru oraz mgr Williama Locketta – jego współpracownika, sugerując ich powtórzenie. 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 (ang. activated sludge).

Edward Arden i William Lockett przedstawili powyższą metodę biologicznego oczyszczania ścieków w referacie pt. „Eksperymenty nad natlenianiem ścieków bytowo-gospodarczych bez pomocy złożeń biologicznych” wygłoszonym 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 złożeń biologicznych – innej, dobrze znanej wówczas, konkurencyjnej metody biologicznego oczyszczania ścieków (z błoną biologiczną), która w tym czasie była powszechnie stosowana.

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

## **15.2. Pierwsze zastosowania metody osadu czynnego na świecie**

W 1914 roku, metodę osadu czynnego przebadano 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 (ang. Sequencing Batch Reactor). 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 dziesięć 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 też 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 kozuchowską, która została oddana do eksploatacji w 1929 roku. Należy dodać, że 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, wspaniałą książkę o procesie osadu czynnego w roku 1927 opublikował Arthur J. Maritin [7].

W Polsce, proces osadu czynnego pierwszy opisał lekarz prof. dr Aleksander Safarewicz 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 wówczas osad czynny – „mułem aktywnym”. Pierwszą książkę o metodzie osadu czynnego wydał prof. A. Safarewicz w 1926 roku w Wilnie. Pierwsza oczyszczalnia, oparta o metodę osadu czynnego,

z napowietrzaniem mieszađłami Hawortha, powstała dopiero w 1937 roku w Kielcach. Książka prof. Jerzego Garczarczyka o metodzie osadu czynnego została wydana przez Wydawnictwo Arkady w 1966 roku [8], a jej angielska uzupełniona edycja w 1983 przez Wydawnictwo M. Dekker [9]. Natomiast, pełna historia rozwoju metody osadu czynnego w Polsce, a szczególnie dynamicznego jej zastosowania w realizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), nie została jeszcze opracowana.

### 15.3. Rozwój metody osadu czynnego w USA i Europie

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 jedną z pierwszych książek, 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. Prof. W.W. Eckenfelder stworzył również, wraz z dr inż. Jackiem L. Mustermanem, kinetyczne podstawy osadu czynnego dla usuwania substancji organicznych ze ścieków przemysłowych [12], które zostały rozszerzone w książce „Jakość wody przemysłowej”, napisanej wraz prof. 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*”. W 2009 roku, kompendium zastosowania osadu czynnego do oczyszczania ścieków przemysłowych wydało Międzynarodowe Stowarzyszenie Wody (ang. IWA) [14]. Należy dodać, że w latach 80-90 XX wieku, również prof. dr hab. inż. Jerzy Gańczarczyk (1938-2013), pracując na Uniwersytecie Toronto, wniósł wkład do teorii osadu czynnego w stosunku do jego struktury, wykorzystując do badań systemy analizy obrazów, jak też wkład do praktyki biologicznego oczyszczania ścieków celulozowych. Istotnym jest również wkład prof. dr inż. Jana Oleszkiewicza, dr h.c. Politechniki Poznańskiej, pracującego na Uniwersytecie Manitoba, w badania nad nowymi procesami osadu czynnego działającymi w niskich temperaturach.

Natomiast w Europie, nie można nie docenić wcześniejszego znacznego wkładu w ochronę wód przed zanieczyszczeniem wielu inżynierów czy uczonych, takich jak: angielski inżynier William Lindley (1808-1900) i jego trzech synowie, w tym

szczególnie 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 znanego 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. Należy dodać, że wiele osób w państwach europejskich, przyczyniło się do rozwoju biologicznego oczyszczania ścieków, w tym do stosowania metody osadu czynnego, przykładowo takie wybitne postacie świata nauki i praktyki jak: prof. Paul Benedek (Węgry), dr A.L. Downing (Anglia), prof. Wilhelm von der Emde (Austria), prof. Poul Harremoës (Dania), prof. Rolf Kayser (Niemcy), prof. Mark van Loosdrecht (Holandia), dr K. Wuhrmann (Szwajcaria), prof. Petr Grau i prof. J. Chudoba (Czechy).

W Polsce, duży wkład do rozwoju metod oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych i ich zastosowania w praktyce wnieśli wybitni uczeni i praktycy, którzy niestety już odeszli, tacy jak: prof. Edward Kępa, prof. Aleksander Szniolis, prof. Jerzy Kurbiel, prof. Marek Roman, prof. Andrzej Królikowski, doc. Jerzy Rybiński, dr Tadeusz Sędziowski, jak też obecnie działający: prof. January Bień, prof. Zbigniew Heidrich, prof. Janusz Tomaszek, doc. Paweł Błaszczuk i wielu innych.

Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), realizowany w Polsce, spowodował niezwykle rozwój biologicznego oczyszczania ścieków, opartego o metodę osadu czynnego. Największe krajowe oczyszczalnie ścieków według maksymalnej dobowej przepustowości, wybudowane w różnych okresach, to: Oczyszczalnia Ścieków Czajka, Warszawa (515 tys. m<sup>3</sup>/d), Grupowa Oczyszczalnia Ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej (332 tys. m<sup>3</sup>/d), Oczyszczalnia Ścieków Płaszów, Kraków (328 tys. m<sup>3</sup>/d), Centralna Oczyszczalnia Ścieków w Koziegłowach, Poznań (260 tys. m<sup>3</sup>/d), Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków Janówek (170 tys. m<sup>3</sup>/d).

#### **15.4. Modelowanie matematyczne procesu osadu czynnego**

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 modelowanie procesu osadu czynnego. Pierwsze uproszczone podstawy matematyczne opisu tlenowego utleniania materii organicznej przedstawili prof. W.W. Eckenfelder i Roy F. Weston w 1955 roku na konferencji w Nowym Jorku, sponsorowanej przez Manhattan College [15]. P. Dold, A. Ekama i G. v. R. Marias w 1980 roku zaproponowali generalny model osadu czynnego [16]. Zbiorową pracą międzynarodową, dotyczącą

modelowania metod oczyszczania ścieków, była książka „Modele matematyczne biologicznego oczyszczania ścieków” pod red. S.E. Jorgensena i M. Gromca wydana w 1985 roku przez Elsevier [17], która miała 16 wznowień. Warto wspomnieć, że w roku 1992, zorganizowano w Warszawie symposium dotyczące matematycznego modelowania oczyszczania ścieków, w ramach działalności Polskiego Komitetu IAWPRC [18].

Po koniec XX wieku, nastąpił znaczny rozwój modelowania biologicznych procesów oczyszczania ścieków, w tym modelowania dynamicznego osadu czynnego [19]. Jednym z pierwszych dynamicznych modeli był model matematyczny opracowany w 1982 roku w Finlandii, przez zespół polsko-fiński, w składzie: Marek Gromiec, Matti Valve i Marku Liponkowski, realizujący badania pilotowe nad biologicznym równoczesnym usuwaniem związków węgla, azotu i fosforu za pomocą procesu osadu czynnego, sterowanego komputerowo, obejmujący 84 równania różniczkowe, rozwiązywane za pomocą programu na komputerze PDG 11/35, którego program dla procesu nitryfikacyjno-denitryfikacyjnego został opracowany w Fortran IV [20].

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 - IAWPRC), obecnie – IWA. Przełomem było opracowanie, przez ten zespół, Modelu Osadu Czynnego Nr 1 (ang. Activated Sludge Model No.1, ASM1) [21], a następnie jego kolejnych modyfikacji [22].

Wkładem polskim w modelowanie procesów osadu czynnego są przykładowo niedawno wydane książki: prof. Jacka Mąkini w języku angielskim przez IWA Publishing [23] oraz prof. Ewy Liwarskiej-Bizukoję przez Wydawnictwo Seidel-Przywecki [24].

Modelowanie matematyczne biologicznego oczyszczania ścieków, w tym szczególnie procesów metody osadu czynnego, znacznie przyczyniło się do dalszego ich rozwoju, a szczególnie do biologicznego usuwania biogenów.

### **15.5. Usuwanie substancji biogenych metodą osadu czynnego**

W XX wieku, metoda osadu czynnego była dalej wielokrotnie modyfikowana, co związane było ze zmieniającymi się standardami dla jakości oczyszczanych ścieków. Początkowo, uwaga była zwrócona tylko na usuwanie zawiesin 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 Teksasu w Austin, USA, pod kierunkiem prof. W.W. Eckenfeldera, umożliwiły biologiczne usuwanie biogenów za pomocą metody osadu czynnego. Prace powyższe szybko zostały zastosowane w praktyce, ponieważ projektant Peter Mering i dr inż. James Bernard zaprojektowali i zastosowali strefy beztlenowe na budowanej oczyszczalni z osadem czynnym dla Johannesburga w Republice Południowej Afryki (RPA), umożliwiające tym samym biologiczne usuwanie biogenów.

Zapoczątkowało to rozwój różnych procesów do biologicznego usuwania fosforu i azotu metodą osadu czynnego. Do zmodyfikowanych procesów osadu czynnego można przykładowo zaliczyć rozwiązania: Bardenpho oraz zmodyfikowane Bardenpho, A2O, UTC, UCTM i inne. W przypadku jednak wprowadzenia znacznie ostrzejszych standardów dla stężenia w odpływie azotu, szereg zastosowanych zmodyfikowanych procesów osadu czynnego miało trudności w spełnieniu tych ostrych standardów. Powstawały wówczas różnego rodzaju reaktorów hybrydowych wykorzystujące zarówno zalety biomasy zawieszanej, jak i błon biologicznych [25-26].

Wysokie wymagania w stosunku do równoczesnego usuwania związków węgla, fosforu i azotu spowodowały pojawienie się całkowicie nowych rozwiązań metody osadu czynnego. Wspomniane ostre standardy, dotyczące szczególnie usuwania substancji biogennych, związane głównie z ograniczeniem eutrofizacji wód, przyczyniły się do opracowania rozwiązań technologicznych o różnych, często komercyjnych, nazwach, przykładowo: Annammox, DeAmmon, Anita Mox, Cannon, Demon, Sharon i wiele innych. Przedstawienie ich rozwój i zastosowania praktycznego wymaga oddzielnej analizy i porównania efektywności działania. Zaczęły również powstać innowacyjne rozwiązania metody osadu czynnego dla biologicznego oczyszczania ścieków, które charakteryzowały się znacznie mniejszym zapotrzebowaniem na energię elektryczną i wysoką efektywnością. Przykładem może być technologia tlenowego granulowanego osadu czynnego [27], w tym holenderska technologia „Nereda”, zastosowana również w Polsce [28], czy też polska technologia z odgazowaniem osadu czynnego „Biogradex”, zastosowana w Polsce i w Chinach [29].

W roku 2017 wydana została przez Wydawnictwo Seidel – Przywecki monografia dotycząca sekwencyjnych reaktorów porcjowych (ang. SBR – Sequencing Batch Reaktor) [30] autorstwa dr inż. Adama Masłonia i prof. Janusza Tomaszka. Wydaje się, że brak jest krajowej monografii na temat innowacyjnych procesów i rozwiązań metody osadu czynnego.



## 15.6. Podsumowanie

Doniosłość odkrycia 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. Nie wchodząc w spory angielsko-amerykańskie gdzie powstał osad czynny, można stwierdzić, że bez tego odkrycia niemożliwe jest wyobrażenie współczesnej ochrony wód przed zanieczyszczeniami. Należy podkreślić, że skutki zmian klimatycznych i rozwój cywilizacji, w tym wzrost ludności świata oraz szybka urbanizacja, powodują ciągłe powstawanie nowych zagrożeń związanych ze ściekami oraz jakością ujmowanej wody. Nowe ich formy, między innymi zanieczyszczeń wody związkami refrakcyjnych i substancjami farmakologicznymi, w tym: antybiotykami, hormonami, estrogenami, chemioterapeutykami, wymagają innowacyjnych rozwiązań techniczno-technologicznych, które winny być kreowane i wspomagane regulacjami prawnymi. Rozwiązania powyższe, muszą nadążać za powstającymi zagrożeniami oraz powstającymi nowymi koncepcjami (gospodarka cyrkulacyjna, paradygmat „NEW” i inne) oraz strategiami ochrony wód przed zanieczyszczeniem.

Rozdział dotycząca rozwoju i zastosowania metody osadu czynnego, stanowi rozszerzoną i uzupełnioną część opracowania autora dotyczącego wpływu prawa na rozwój technologii oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów [31].

## Bibliografia

1. Jenkins D., Wanner J. (Eds.): Activated Sludge – 100 Years and Countig. 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 (Fist 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. Ganczarczyk 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., Engle A.J.: *Industrial Water Quality*. McGraw-Hill, New York, N.Y., 2009 (Fourth Edition).
14. Orhon D., Babuna F.G. Karahan O. (Eds.) *Industrial Wastewater Treatment by Activated Sludge*. IWA Publishing, London-New York 2009.
15. Brother Joseph McCabe, Eckenfelder W.W.(Eds): *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, vol. 1 – Aerobic Oxidation. Reinhold Publishing Co., New York, N.Y., 1956.
16. Dold P.L., Ekama G. A., Marias G. V. R.: General model for the Activated Sludge Process. *Progress in Water Technology* 12,6, 89, 1980.
17. Jorgensen S.E., Gromiec M.J. (Eds): *Mathematical Models in Biological Waste Water Treatment*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo 1985.
18. Gromiec M. (Red.): *Matematyczne modelowanie biologicznego oczyszczania ścieków*. Wyd. Materiały XI PK IAWPRC, Warszawa 1992.
19. Dochain D., Vanrolleghem P.: *Dynamic Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes*. IWA Publishing, London 2001.
20. Gromiec M., Valve M., Liponkowski M.: *Nutrients Removal from Wasterwaters by Single Sludge Systems*. Technical Research Centre of Finland, Espoo 1982.
21. 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.
22. 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.
23. Mąkinia J.: *Mathematical Modeling and Computer Simulation of Activated Sludge Systems*. IWA Publishing, London 2011.
24. Liwarska-Bizukojć E.: *Modelowanie procesów oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2014.
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. Podedworna J., Piechna J.: *Tlenowy granulowany osad czynny – Koncepcje mechanizmów formowania, właściwości i wymagania technologiczne*. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2017.
28. Gromiec M.: *Uruchomienie pierwszej w Polsce oczyszczalni ścieków z technologia Nereda w Rykach*. GWiTS 9,328-330, 2013.
29. Gołcz A.: *Biogradex Technology of Activated Sludge Vacuum Modification in Wastewater Biological Treatment*. Proc. IWA special Conference, Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes and Recycle Streams, 1085-1093. Krakow 2005.

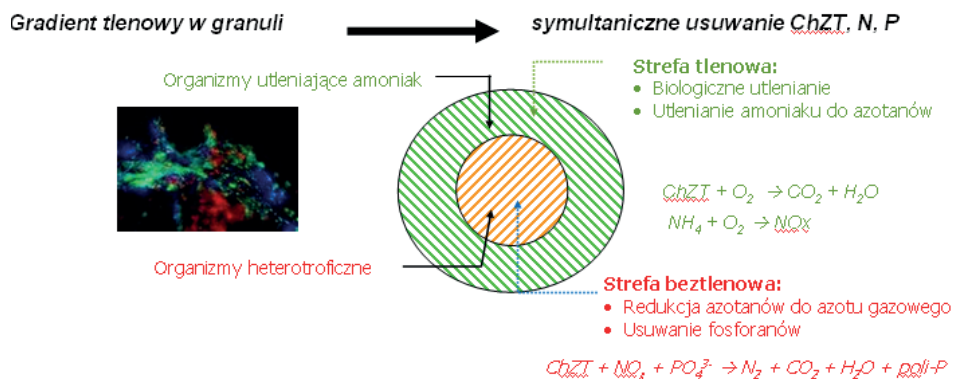
30. Masłoń A., Tomaszek J.A.: Sekwencyjne reaktory porcjowe – Podstawy technologii, zasady projektowania I przykłady zastosowań. Wyd. Seidel-Przywecki, 2017.
31. Gromiec M.: Wpływ regulacji prawnych na rozwój technologii oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów. W: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód (Water Supply and Water Quality), red. Z. Dymaczewski i inn. PZiTS – Oddział Wielopolski, Poznań 2018.

## **16. Technologia z tlenowym granulowanym osadem czynnym**

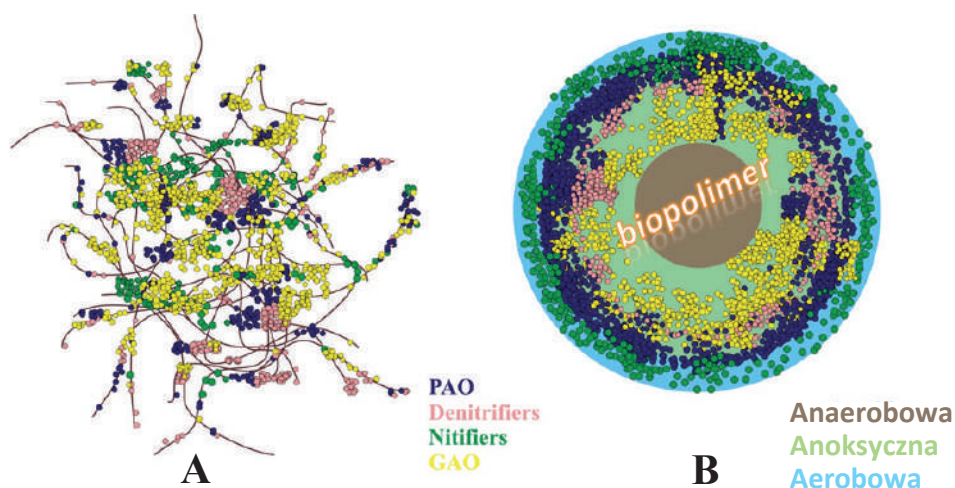
Innowacyjna technologia z granulowanym osadem czynnym zwana Nereda [1-3] rozwiązała problem efektywnego oddzielania zawieszin osadu od oczyszczonej cieczy, co często jest utrudnione w kłaczkowatym osadzie czynnym. Tlenowy osad czynny o charakterze granulowanym osad granulowany posiada doskonałe zdolności sedymentacyjne. Granule są selekcionowane z konwencjonalnego osadu czynnego. Istnieją możliwości zastosowania tej technologii do oczyszczania ścieków przemysłowych oraz ścieków komunalnych i przemysłowo-komunalnych. Badania w skali laboratoryjnej nad technologią tlenowego granulowanego osadu czynnego zapoczątkowano już kilkadziesiąt lat temu w Holandii. Były to badania nad mechanizmami tworzących się samoistnie aglomeratów mikroorganizmów w formie kulistej, a nie formie kłaczkowatej. Zasada tej technologii polega bowiem na wykorzystaniu i kontrolowaniu tworzących się samoistnie kulistych aglomeratów, które pozwalają na symultaniczne warunki beztlenowe, atoksyczne i tlenowe w obrębie tych granul. Zalety technologii doprowadziły do powstania zwartej konstrukcji reaktorów biologicznych o działaniu sekwencyjnym, które eliminują potrzebę oddzielnych osadników. Wyeliminowana została potrzeba wielokomorowych reaktorów oraz recyrkulacji. Należy podkreślić, że technologia z reaktorami Nereda należy do technologii innowacyjnych, zrównoważonych oraz efektywnych.

### **16.1. Podstawy technologii**

Technologia Nereda została opracowana na Uniwersytecie Technologicznym Delft. Podstawy technologiczne opracowano w wyniku realizacji holenderskiego programu badawczego, na podstawie porozumienia pomiędzy Holenderską Fundacją Badań Wodnych, Uniwersytetem Technologicznym Delft i firmą DHV oraz sześcioma urzędami wodnymi. Nereda jest innowacyjną, zrównoważoną i efektywną technologią biologicznego oczyszczania ścieków stosującą granulowany osad czynny. Granulowana biomasa osadza się znacznie szybciej niż biomasa kłaczkowata. Dlatego ta innowacyjna technologia ma niższe nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne. Technologia Nereda posiada patent Nr PCT/NL 2003/000642 pt. "Metoda oczyszczania ścieków z granulowanym osadem" z dnia 24 marca 2004 roku, którego właścicielem była firma DHV, a obecnie jest Royal Haskoning DHV. Technologia tlenowego granulowanego osadu czynnego została szczegółowo opisana w opublikowanej w 2006 roku rozprawie doktorskiej M.K. de Kreuk na Uniwersytecie Technologicznym Delft [3].

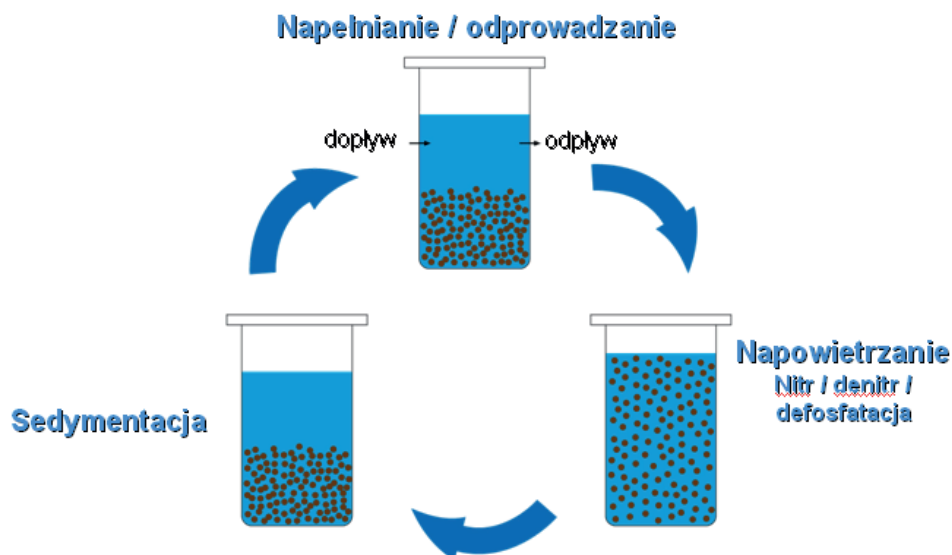


Rys. 16.1. Schemat granuli osadu czynnego [1]



Rys. 16.2. Różnica między klasycznym osadem czynnym (A) i osadem granulowanym (B) (dzięki uprzejmości Uniwersytetu technologicznego Delf)

W granulach osadu czynnego zachodzi symultaniczne usuwanie związków węglowych i biogenych (azotu i fosforu) w dwóch strefach: tlenowej i beztlenowej (rys.16.1). Czas sedymentacji osadu granulowanego powoduje, że praktyczna realizacja tej technologii następuje w reaktorach o działaniu sekwencyjnym (SBR), które eliminują potrzebę oddzielnych osadników. W reaktorach sekwencyjnych z granulowanym osadem czynnym fazy ograniczone są do: napełniania, napowietrzania, sedymentacji i odprowadzania ścieków, (równoczesnego z napełnianiem ich nocą porcją ścieków surowych) (rys.16.2).



Rys.16.3. Fazy w sekwencyjnym reaktorze z granulowanym osadem czynnym [1]

Technologia Nereda posiada cechy rozwiązania zrównoważonego, łączy bowiem efektywność ekonomiczną oczyszczania z korzyściami środowiskowymi. Ekonomiczność rozwiązania związana jest z mniejszymi nakładami inwestycyjnymi oraz niskimi kosztami eksploatacyjnymi, a łatwość eksploatacyjna związana jest z zautomatyzowanym działaniem oraz istnieniem zintegrowanego układu sterującego i unikalnego kontrolera procesu. Istnieją również z możliwości automatycznego lub zdalnego sterowania.

Największe doświadczenia eksploatacyjne z tej technologii płynęły początkowo z oczyszczania ścieków przemysłowych, szczególnie przemysłu spożywczego, ale badania w skali pilotowej i w pełnej technicznej spowodowały zainteresowanie również w zastosowaniu tej technologii do oczyszczania ścieków komunalnych. Technologię tą można zastosować zarówno przy budowie nowych jak i modyfikacji już istniejących oczyszczalni ścieków

## 16.2. Zastosowanie technologii w miastach holenderskich

Poniżej przedstawiono wybrane cztery oczyszczalnie komunalne, działające w czterech holenderskich miastach: Epe, Garmerwolde, Vroomshoop i Dinxperlo, na podstawie raportu STOWA [5].

**Oczyszczalnia w Epe.** W mieście Epe, została zbudowana w 2010 roku i uruchomiona w styczniu 2012 roku, pierwsza komunalna oczyszczalnia ścieków

z technologią Nereda w Europie, w pełnej skali technicznej. Zarząd Wodny Vellei i Veluve, który wspierał jej budowę, wydał ostre standardy na zawartość bio-genów w oczyszczonych ściekach: 5-8 mg  $N_{og}$ /dm<sup>3</sup> oraz 0,3-0,5 mg  $P_{og}$ /dm<sup>3</sup>. Przyjęty przepływ max godzinowy do oczyszczalni wynosił 1500 m<sup>3</sup>/h, a ładunek zanieczyszczeń wyrażony równoważną liczbą mieszkańców (RLM) wynosi 53 500, przyjmując, że 1 RLM = 150 g CZT (całkowitego zapotrzebowania tlenu). Znaczna część ścieków dopływająca do oczyszczalni pochodzi z rzeźni, dlatego zastosowano intensywne oczyszczanie wstępne, w tym kraty, zaprojektowane na obciążenie usuwanie piasku i tłuszczów. Zbudowano trzy reaktory Nereda (o pojemności 4500 m<sup>3</sup> każdy), przyjmując obciążenie 0,12 kg ChZT/kg s.m. d oraz stężenie osadu czynnego w wysokości 8 g/dm<sup>3</sup>. Odpływ z reaktorów kierowany jest na filtry piaskowe, a następnie do odbiornika. Natomiast woda z płukania filtrów kierowana jest do zbiornika buforowego, a odcieki z zagęszczaczy doprowadzane SA na filtry, co przyczynia się do obniżenia hydraulicznego reaktorów Nereda.

Osady nadmierne z reaktorów Nereda kierowane są również do zbiornika buforowego osadów i zagęszczane (razem z odciekami z filtrów) na dwóch prasach taśmowych. Zagęszczone osady pompowane są do zbiornika buforowego osadów i transportowane do oczyszczalni w Apeldoorn w celu ich fermentacji. Wymagania dla oczyszczania ścieków oraz uzyskane wyniki dla oczyszczonych ścieków podano w tabelicy 1. Wyniki oczyszczania ścieków zostały otrzymane przy obciążeniach oczyszczalni wyższych niż wartość projektowa.

Tablica 16.1. Wymagania i wyniki dla oczyszczalni ścieków w Epe

Parametry	Wymagania	Wyniki
$N_{og}$ , mg/dm <sup>3</sup>	≤ 5,0	4,0
$P_{og}$ , mg/dm <sup>3</sup>	≤ 0,3	≤ 0,3
Zużycie energii, kWh/RLM <sub>150g CZT zred. rok</sub>	≤ 22,5	21,2
Zagęszczenie osadu, % s.m.	≥ 5,0	5,2
Zużycie polimeru, g RLM /kg s.m.	≤ 5,0	1,2

Natomiast zużycie energii, podane w tabelicy 1, zostało osiągnięte przy aktualnym obciążeniu oczyszczalni, wynoszącym 70% wartości projektowej. W warunkach pełnego obciążenia, zużycie energii wynosiłoby 16,3 kWh/RLM<sub>zred. rok</sub>, gdzie RLM=150 g CZT/M (CZT-całkowite zapotrzebowanie tlenu), które byłoby niższe niż wartość podana w tabelicy 16.1. Ponieważ zużycie energii w nowoczesnych biologicznych oczyszczalniach ścieków w Holandii, często bez pompowania dopływu ścieków i zagęszczania mechanicznego, wynosi 37,5 kWh/RLM<sub>zred. rok</sub>, co oznacza, że oczyszczalnia Epe zużywa ponad 40% mniej energii. Od czterech lat



zużycie energii w oczyszczalni Epe utrzymuje się na poziomie  $21,2 \text{ kWh/RLM}_{\text{zred}}$  rok ( $\text{RLM} = 150 \text{ g CZT/M}$ ), podczas gdy  $N_{\text{og}} < 5 \text{ mg/dm}^3$  i  $P_{\text{og}} < 0,5 \text{ mg/dm}^3$ .

**Oczyszczalnia Garmerwolde.** Decyzję o konieczności zmodyfikowania oczyszczalni ścieków w Garmerwolde podjął Zarząd Wodny Noordrrzjilvest dla uzyskania większej pojemności istniejącej oczyszczalni ( $235\,000 \text{ RLM}$ ) z technologią A/B SHARON oraz spełnienia wymaganych standardów usuwania biogenów (azotu i fosforu). Konsorcjum firm budowlanych GMB/Imtech (wraz z firmą konsultacyjną Witteveen & Bos) oceniło 20 możliwych opcji technologicznych i wybrało technologię systemu Nereda, jako system działający równoległe do systemu A/B SHARON.

System Nereda składa się z obiektów takich jak: zbiornik buforowy ścieków ( $4\,000 \text{ m}^3$ ), 2 reaktory Nereda ( $9\,500 \text{ m}^3$  każdy) o głębokości  $7,25 \text{ m}$ , 4 kompresory ( $3\,500 \text{ m}^3/\text{h}$  każdy), przy czym wewnętrzna recyrkulacja stanowi  $2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ , zbiornik buforowy osadów ( $400 \text{ m}^3$ ). Zbiornik buforowy umożliwił wzrost obciążenia hydraulicznego i obciążenia zanieczyszczeniami systemu i obniżyć objętość reaktorów Nereda. Średnio dobowy przepływ ścieków (projektowy) do reaktorów wynosi  $19\,680 \text{ m}^3/\text{d}$ , przepływ max godzinowy  $4\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ , a przepływ w czasie pogody suchej wynosi 41% przepływu w czasie pogody mokrej. Według pozwolenia, odpływ oczyszczonych ścieków winien spełniać następujące warunki:  $\text{BZT}_5 = 20 \text{ mg/dm}^3$ ,  $\text{ChZT} = 125 \text{ mg/dm}^3$ ,  $N_{\text{og}} = 7 \text{ mg/dm}^3$ ,  $P_{\text{og}} = 1 \text{ mg/dm}^3$ , zawiesiny ogólne =  $20 \text{ mg/dm}^3$ . Reaktor Nereda przyjmuje ładunek zanieczyszczeń wyrażony liczbą mieszkańców równoważnych (RLM) w wysokości  $140\,000$  (w oparciu o CZT – Całkowite Zapotrzebowanie Tlenu w wysokości  $150 \text{ g CZT/M d}$ , natomiast ładunki zanieczyszczeń dopływających w ściekach surowych wynoszą:  $\text{ChZT} = 14\,635 \text{ kg/d}$ ,  $\text{BZT} = 5\,495 \text{ kg/d}$ , azot Kjeldahla –  $1\,387 \text{ kg/d}$ , fosfor ogólny –  $21 \text{ kg/d}$ , zawiesiny ogólne –  $8\,000 \text{ kg/d}$ .

Uruchomienie linii Nereda rozpoczęto poprzez zasilanie reaktorów biologicznych małą ilością osadu granulowanego oczyszczalni Epe, stopniowo zwiększając przepływ ścieków (aby osiągnąć przepływ projektowy) przez okres 3 miesięcy. W tym okresie uzyskano, na drodze biologicznej, zachęcające wyniki dla usuwania azotu i dość intensywne usuwanie fosforu. Jednakże, zużycie energii systemu Nereda stanowiło tylko 48% zużycia energii w systemie A/B SHARON.

W okresie od listopada 2013 roku do końca stycznia 2015 roku stężenie masy osadu czynnego w reaktorach Neredy wzrosło z około  $3,5 \text{ kg/m}^3$  do około  $9,0 \text{ kg/m}^3$ . W roku 2014, średnie stężenie  $N_{\text{og}}$  w odpływie ścieków z systemu A/B SHARON obniżyło się z  $15 \text{ mg/dm}^3$  do  $10 \text{ mg/dm}^3$ , natomiast w systemie Nereda z  $15 \text{ mg/dm}^3$  do  $8 \text{ mg/dm}^3$ . Równocześnie, w tym roku, zużycie energii w systemie A/B SHARON wahało się w granicach  $0,25 - 0,6 \text{ kWh/m}^3$ , a w systemie Nereda w granicach  $0,10 - 0,25 \text{ kWh/m}^3$ .

**Oczyszczalnia Vroomshoop.** Urząd Wodny Regge i Winkel stwierdził konieczność zwiększenia pojemności oczyszczania istniejącej oczyszczalni ścieków w Vroomshoop. W związku z powyższym, zdecydowano się na realizację reaktora Nereda o objętości 2400 m<sup>3</sup>. Ładunek zanieczyszczeń (projektowy) wyrażony liczbą mieszkańców (RLM) wynosił 25 000, a dopływ ścieków – 1265 m<sup>3</sup>/h. U uruchomienie oczyszczalni nastąpiło w maju 2013 roku, a inauguracja w listopadzie 2013 roku. Zastosowane rozwiązanie stanowi pierwsze hybrydowe rozwiązanie dla technologii Nereda, polegające na tym, że nowy reaktor Nereda działa równolegle z istniejącym konwencjonalnym systemem osadu czynnego, a działanie reaktora jest z nim zintegrowane (rys.16.4). Dopływ ścieków rozdzielony został na konwencjonalny osad czynny i na granulowany osad czynny.

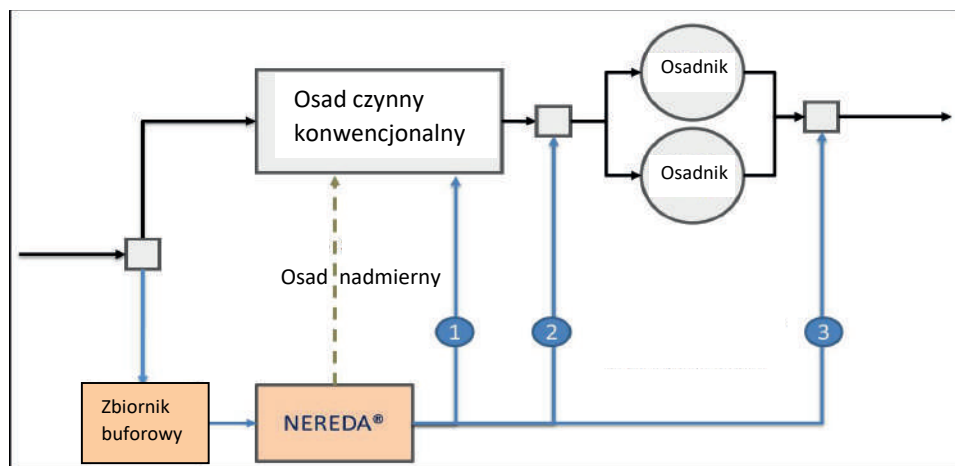
Hybrydowe rozwiązanie pozwala na ekonomiczne zwiększenie pojemności oczyszczania, przy czym mogą wystąpić trzy zmienne opcje:

- doprowadzanie osadu z reaktora Nereda do komór konwencjonalnego osadu czynnego,
- odprowadzenie ścieków oczyszczonych z reaktora Nereda do osadników wtórnych,
- odprowadzanie ścieków oczyszczonych do odpływu z osadników wtórnych.

Specyficzną cechą rozwiązania hybrydowego jest możliwość dwukrotnego odprowadzenia osadu podczas jednego cyklu. Do zalet z hybrydowego rozwiązania można zaliczyć: nie tylko kompaktowe zwiększenie pojemności oczyszczalni, ale też polepszenie charakterystyki osadu czynnego w konwencjonalnym systemie i lepsze działanie tego systemu. Polepszenie charakterystyki konwencjonalnego osadu czynnego związane jest z poprawą indeksu osadu do 80 ml/m<sup>3</sup>, przy indeksie osadu w reaktorze Nereda 40 ml/m<sup>3</sup>. Zużycie energii systemu Nereda, w tym przypadku, było o 35% niższe w stosunku do systemu konwencjonalnego osadu czynnego. Od listopada 2014 roku rozpoczęto bezpośredni zrzut oczyszczonych ścieków z reaktora Nereda do odbiornika.

**Oczyszczalnia Dinxperlo.** Zarząd Wodny Rinn i Ijssel podjął decyzję o budowie oczyszczalni ścieków Nereda w połączeniu z parkiem wodnym w małym mieście Dinxperlo, liczącym około 8 tysięcy mieszkańców. Średni przepływ ścieków wynosi 3100 m<sup>3</sup>/d (projektowy), przepływ maksymalny godzinowy 570 m<sup>3</sup>/d, a ładunek zanieczyszczeń, wyrażony w RLM – 15 730.

Realizacja oczyszczalni została poprzedzona badaniami pilotowymi, których wyniki wskazały na możliwości uzyskania wymaganej jakości oczyszczonych ścieków, redukcję zużycia energii i ilości chemikaliów, mniejsze zapotrzebowanie na powierzchnię. Spowodowało to wybór technologii Nereda z granulowanym osadem czynnym na oczyszczalni Dinxperlo, która została uruchomiona w roku 2013.



Rys.16.4. Schemat oczyszczalni ścieków w Vroomshoop i możliwe opcje [5]

Reaktor Nereda zajął powierzchnię o połowę mniejszą i zużywa o 25% mniej energii niż rozwiązanie tradycyjne, nie występują odory i brak jest hałasu, a dodatkowo produkuje alginian, który wykorzystywany jest jako półprodukt do produkcji papieru, materiałów tekstylnych i rolnictwie. Oczyszczone biologiczne ścieki ulegają dalszemu oczyszczaniu w parku wodnym, wykorzystywanym do celów rekreacyjnych. Kontrakt obejmował bowiem utworzenie parku wodnego, który nie tylko intensyfikuje oczyszczanie ścieków, ale posiadając stawy, szuwały i tereny zielone jest również otwarty dla mieszkańców. Jest to interesujące rozwiązanie, które mogłoby być częściej stosowane w naszym kraju, chociaż istnieją już przypadki indywidualnego zastosowania stawów do podczyszczania ścieków.

### 16.3. Zastosowanie technologii w Polsce

Pierwszą w Polsce komunalną oczyszczalnię ścieków, stosującą technologię Nereda, wybudowano w 2015 roku w mieście Ryki. Technologię tą, przedstawiono w 2011 roku w GWiTS [7]. Miasto Ryki poszukiwało rozwiązania technologicznego spełniającego wymagania oczyszczania ścieków, przy niskich nakładach inwestycyjnych i kosztach eksploatacyjnych, które można szybko zrealizować, wykorzystując część istniejących na oczyszczalni obiektów. Technologia Nereda spełniała powyższe warunki. Koszt projektu pt. „**Rozbudowa, modernizacja oczyszczalni ścieków w Rykach**” wyniósł około 18,67 mln PLN, a dofinansowanie było w wysokości około 11,97 mln PLN. Projekt był współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Funduszu Spójności w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko. Projekt dla oczyszczalni ścieków „Fregata” wykonała firma

DHV, budowę zrealizowała firma Skanska S.A., a nadzór inwestycyjny firma Ekoinwestycje Sp. z o.o.

**Opis oczyszczalni.** System kanalizacyjny miasta Ryki, doprowadzający ścieki do oczyszczalni „Fregata”, jest systemem rozdzielczym, o długości około 30 km. Do oczyszczalni dopływają ścieki bytowo-gospodarcze i ścieki przemysłowe z Polskiego Ogródu „Hortex”. Istniejąca Spółdzielnia Mleczarska nie podłączyła się do „Fregata” i zbudowała własną oczyszczalnię w technologii membranowej, co świadczy, że nie posiadamy właściwych rozwiązań prawnych dla koncepcji grupowych oczyszczalni.

Średni przepływ dobowy ścieków wynosi 3607 m<sup>3</sup>/d (przepływ dobowy max 5320 m<sup>3</sup>/d), a przepływ max godzinowy 430 m<sup>3</sup>/h, natomiast średni ładunek zanieczyszczeń (projektowany), wyrażony w równoważnej liczbie mieszkańców (RLM) wynosi 38 600.

Nowo wybudowana część oczyszczalni zajęła teren jednego ze stawów, po jego osuszeniu i wybagrowaniu, co nie ułatwiło jej realizacji. Przy rozbudowie i modernizacji oczyszczalni „Fregata” wykorzystano istniejące urządzenia do wstępnego oczyszczania, w postaci krat (6 mm), piaskownika, które zostaną zmodernizowane w przyszłości. Nowa część oczyszczalni obejmuje: zbiornik ścieków surowych, reaktory biologiczne i obiekty przeróbki osadów ściekowych (rys.16.5).

Część biologiczna oczyszczalni ścieków, oparta o technologię Nereda, obejmuje dwa reaktory (typu SBR), pracujące przemiennie. Ponieważ każdy reaktor zasilany jest ściekami 5 razy na dobę porcją ścieków, daje to 10 zasileń ściekami w ciągu doby. Natomiast reaktory napowietrzane są za pomocą powietrza dostarczanego przez dwie dmuchawy (plus jedna rezerwowa), każda o mocy 45 kW. W reaktorach następuje usuwanie związków węgla, azotu i fosforu na drodze biologicznej, za pomocą symultanicznych procesów utleniania, nityfikacji/denitryfikacji i defosfatacji.

Produkowane osady ściekowe doprowadza się do zbiornika osadu nadmiernego (do którego doprowadza się powietrze z osobnej niewielkiej dmuchawy), a następnie do zagęszczacza grawitacyjnego, z którego kierowane są na prasę. Wielkość osadów z 60 m<sup>3</sup>/d zostaje zmniejszona do 10-12 m<sup>3</sup>/d. Osady, które mieszane są z wapnem, składowane są na składowisku i wykorzystywane są przyrodniczo lub rolniczo, czemu sprzyja fakt, że oczyszczane ścieki bytowo-gospodarcze ze ściekami owocowo-warzywnymi nie zawierają metali ciężkich.

**Uzyskane efekty ekologiczne.** Oczyszczalnia ścieków „Fregata” osiąga wymagane efekty ekologiczne, bowiem ścieki oczyszczone spełniają wymogi dyrektywy 91/271/EWG w sprawie oczyszczania ścieków komunalnych oraz stosownego

krajowego rozporządzenia ministra środowiska do którego przetransponowano tą dyrektywę. Parametry oczyszczonych ścieków, w kwietniu 2015 roku, osiągnęły wartości lepsze niż wynikające z obowiązujących przepisów, a mianowicie: 5-dobowe biochemiczne zapotrzebowanie ścieków ( $BZT_5$ ) < 10 mg/dm<sup>3</sup>, chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) < 40 mg/dm<sup>3</sup>, zawiesina ogólna ( $Z_{og}$ ) < 10 mg/dm<sup>3</sup>, azot ogólny ( $N_{og}$ ) < 6 mg/dm<sup>3</sup>, fosfor ogólny ( $P_{og}$ ) < 0,6 mg/dm<sup>3</sup>. Osiągnięcie powyższych parametrów oczyszczonych ścieków było możliwe już w połowie kwietnia 2015 roku dzięki wyhodowaniu, w czasie rozruchu, osadu granulowanego, zaczynając od początkowej temperatury ścieków w reaktorze 4°C w lutym 2015 roku.

Należy dodać, że w Polsce, prowadzone były głównie badania o charakterze podstawowym nad granulowanym osadem czynnym, których wybrane przykłady podano w artykułach [4-6], chociaż występują również przypadki wyhodowania osadu granulowanego głównie w instalacjach przemysłowych.

#### **16.4. Analiza zużycia energii w reaktorach**

Zaostrzenie wymagań związanych z ochroną środowiska przyczynia się również do poszukiwania bardziej efektywnych sposobów biologicznego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego, pozwalających między innymi na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Poszukiwanie efektywniejszych sposobów biologicznego oczyszczania ścieków spowodowało, że powstało szereg rozwiązań technologicznych pozwalających na zwiększoną, w stosunku do klasycznego osadu czynnego, koncentrację biomasy w reaktorach biologicznych. Rozwiązanie takie stanowią sekwencyjne reaktory porcjowe – SBR (rys.3).

Technologia ta ma szereg zalet w stosunku do konwencjonalnego osadu czynnego, które obejmują głównie: dobre zdolności sedymentacyjne (umożliwione przez większą koncentrację granulowanego osadu czynnego), warstwową budowę granul oraz odporność na duże wahania obciążenia. Szczególnie interesujące są doświadczenia eksploatacyjne w zakresie oszczędności zużycia energii elektrycznej. Poniżej przedstawiono analizę zużycie energii elektrycznej w wybranych oczyszczalniach ścieków z technologią Nereda w holenderskich miastach [3], w oparciu o raport STOWA [4].

Przedstawiono również zużycie energii podczas demonstracyjnego działania oczyszczalni Frielas w Portugalii oraz w pierwszej polskiej oczyszczalni z technologią Nereda w Rykach [5].

**Oczyszczalnia w Epe.** Pierwsza oczyszczalnia ścieków komunalnych z technologią Nereda została uruchomiona w 2012 roku w mieście Epe. Dopyływ max. godzinowy

ścieków do oczyszczalni wynosi 1 500 m<sup>3</sup>/h, a ładunek zanieczyszczeń 53 500 RLM (przyjmując, że 1 RLM = 150 g CZT/M, gdzie CZT – całkowite zapotrzebowanie tlenu). Zastosowano 3 reaktory Nereda, każdy o pojemności 4 000 m<sup>3</sup>. Zużycie energii elektrycznej wynosiło 21,2 kWh/RLM/rok przy obciążeniu wynoszącym 70% wartości projektowanej, co oznacza, że w warunkach pełnego obciążenia wynosiłoby 16,3 kWh/RLM/rok. Po zmodyfikowaniu, oczyszczalnia typu Nereda zużywa 2000-2500 kWh/d, podczas gdy uprzednio zużywała 3500 kWh/d.

**Oczyszczalni w Dinxperlo.** Średni dopływ ścieków do oczyszczalni w mieście Dinxperlo (8000 M) wynosi 3100 m<sup>3</sup>/d (projektowany max. przepływ godzinowy to 570 m<sup>3</sup>/h), a ładunek zanieczyszczeń – 15730 RLM. Zastosowany reaktor Nereda, uruchomiony w 2013 roku, zużywa 27,1 kWh/RLM, to jest o 25% energii elektrycznej mniej niż stosowane rozwiązanie tradycyjne.

**Oczyszczalnia w Vroomshoop.** Oczyszczalnia w mieście Vroomshoop posiada nowy reaktor Nereda, uruchomiony w 2013 roku, który działa równolegle z istniejącym systemem konwencjonalnego osadu czynnego. Reaktor Nereda, o pojemności 1350 m<sup>3</sup>, zintegrowany z systemem konwencjonalnym (2400 m<sup>3</sup>), stanowi rozwiązanie hybrydowe. Dopływ ścieków do oczyszczalni wynosi 1265 m<sup>3</sup>/h, a projektowany ładunek zanieczyszczeń wynosi 25000 RLM. Zużycie energii elektrycznej w reaktorze Nereda wynosiło 22,9 kWh/RLM i jest o 35% mniejsze niż w systemie konwencjonalnego osadu czynnego.

**Oczyszczalnia w Garmerwolde.** Na oczyszczalni w mieście Garmerwolde z technologią metody osadu czynnego A/B Sharon, o ładunku zanieczyszczeń 235 000 RLM, wybudowano dwa reaktory Nereda (o pojemności 9 500 m<sup>3</sup>) w celu uzyskania większej pojemności. Średni dobowy dopływ ścieków do reaktora wynosi 19680 m<sup>3</sup>/d (max. godzinowy 4 200 m<sup>3</sup>/h), a ładunek zanieczyszczeń 140000 RLM (w oparciu o Całkowite Zapotrzebowanie Tlenu – CZT, gdzie 1 RLM = 150 g CZT/M). Zużycie energii elektrycznej systemu Nereda stanowi około 48% zużycia energii w systemie A/B SHARON. W roku 2014 zużycie energii elektrycznej w systemie A/B SHARON wahało się w granicach 0,25-0,60 kWh/m<sup>3</sup>, a w systemie Nereda w granicach 0,10-0,25 kWh/ m<sup>3</sup>.

**Oczyszczalnia Frielas (Portugalia).** Na oczyszczalni reaktor Nereda działa równolegle z komorami konwencjonalnego osadu czynnego. Zużycie energii elektrycznej w reaktorze Nereda wynosiło 0,35 kWh/kg ChZT usuniętego, co stanowiło około 30% oszczędności energii elektrycznej dla systemu napowietrzania, w porównaniu do istniejącego systemu osadu czynnego. Uwzględniając mniejszą ilość



urządzeń ruchomych w reaktorze Nereda, oszacowano, że całkowita redukcja energii elektrycznej mogła wynosić nawet 50%, co przesadziło o dokonanej modyfikacji istniejącego bioreaktora na reaktor Nereda w 2014 roku.

**Oczyszczalnia w Rykach.** Na oczyszczalnię w mieście Ryki w Polsce dopływa mieszanina ścieków komunalnych i ścieków z zakładu przetwórstwa warzywnego oraz dowożonych taborem asenizacyjnym. Dobowy maksymalny dopływ ścieków wynosi 5 050 m<sup>3</sup>/d (max. godzinowy 430 m<sup>3</sup>/h). W skład oczyszczalni weszły 2 reaktory Nereda, o objętości 2 500 m<sup>3</sup> każdy. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej zależy od dopływającego do oczyszczalni ładunku i w październiku wynosiło 0,29 kWh/kg ChZT usuniętego. Obliczone z tych wyników roczne zużycie energii elektrycznej wynosiłoby dla tej oczyszczalni: względem BZT<sub>5</sub> – 16,32 kWh/RLM/rok, a względem ChZT – 14,15 kWh/RLM/rok.

Dostępne wyniki z eksploatacji wybranych oczyszczalni ścieków z reaktorami Nereda wskazują jednoznacznie, że zastosowane w praktyce rozwiązania, w pełnej skali technicznej, pozwalają na istotne oszczędności w zużyciu energii elektrycznej, różniące się w zależności od występujących warunków. Istotne są w tym względzie doświadczenia eksploatacyjne dla reaktorów Nereda w Holandii, gromadzone w dłuższym czasie i dające możliwość porównania z innymi stosowanymi tam rozwiązaniami w tym zakresie. Szczególnie, że zużycie energii elektrycznej na biologicznych oczyszczalniach w Holandii, bez pompowania dopływu ścieków i zagęszczania mechanicznego oraz bez trzeciego stopnia oczyszczania, wynosi 33,4 kWh/RLM/rok.

## 16.5. Podsumowanie

Technologia z granulowanym osadem czynnym charakteryzuje się następującymi cechami: jest to rozwiązanie stosunkowo proste, kompaktowe i łatwe w eksploatacji. Powyższe rozwiązanie technologiczne charakteryzuje się niskimi nakładami inwestycyjnymi i kosztami eksploatacyjnymi, jak też, co istotne, niskim zapotrzebowaniem na energię. Główne przesłanki wyboru tej technologii to możliwości zastosowania kompaktowego rozwiązania ze znacznie mniejszą ilością urządzeń mechanicznych i bez oddzielnych osadników, co znacznie zmniejsza zapotrzebowanie na powierzchnię i obniża nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne (tablica 16. 2). Zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych związane jest z jednej strony z brakiem potrzeby stosowania chemikaliów (lub stosowania w małych ilościach), a z drugiej z mniejszym zużyciem energii elektrycznej.

Technologia wyszła również naprzeciw problemom pęcznienia osadu czynnego. Za granicą była dotychczas stosowana głównie do oczyszczania ścieków



Tablica 16.2. Ogólne porównanie dwóch technologii BNR (osad czynny) i Nereda [1]

parameter		Technologia Nereda
Jakość odpływu	dobra	podobna lub lepsza
Stabilność procesu	dobra	podobna lub lepsza
Powierzchnia	100%	25%
Zużycie energii	100%	< 65-75%
Produkcja osadów	100%	podobna lub mniejsza
Stężenie osadu	3-5 kg/m <sup>3</sup>	10-15 kg/m <sup>3</sup>
CAPEX (nakłady)	100%	znacznie niższe
OPEX (eksploatacja)	100%	znacznie niższe



Rys.16.5. Reaktory Nereda w Rykach (fot. dzięki uprzejmości mgr inż.T. Pośpiecha)

przemysłowych, ale znalazła zastosować również pierwsze do oczyszczania ścieków komunalnych. Rozwój technologii następuje dynamicznie dzięki wspomnianym wyżej następującym zaletom: niższe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, kompaktowość, łatwa obsługa, mniejsze zużycie energii elektrycznej [5]. Szczególnie istotne jest mniejsze zużycie energii w systemie Nereda z granulowanym osadem niż w systemach z kłaczkowatym osadem czynnym. Istotnym jest również niska emisja metanu w systemach Nereda, która wynosi  $0,0009 \text{ kg CH}_4 / \text{kg ChZT}_{\text{usu}}$ .

Dlatego pojawiają się coraz to nowe zastosowania, nie tylko do oczyszczania ścieków przemysłowych, ale również ścieków komunalnych, których przykłady podano powyżej. Działające obiekty umożliwiają dokładne poznanie możliwości eksploatacyjnych i rodzą nowe pomysły. Pojawiają się nowe koncepcje rozwiązań, jak przykładowo koncepcja modularnych oczyszczalni Nereda, którą Zarząd Wodny Limburg planuje zastosować na oczyszczalni Sijpeveld.

Niezależnie od zalet technologii Nereda z granulowanym osadem czynnym, interesującym jest to co przyczynia się do sukcesu tej technologii. Na początku, oczywiście był sam pomysł związany z opracowaniem naukowych podstaw tej technologii poprzez badania laboratoryjne, ale istotnym wydaje się być powołanie holenderskiej fundacji dla wspierania praktycznej realizacji tego pomysłu.

Do Holenderskiej Fundacji Stosowanych Badań Wodnych (STOWA) przystąpiły następujące organizacje: Uniwersytet Techniczny Delft, holenderskie zarządy wodne i firma DHV (obecnie Royal Haskoning DHV), czyli połączenie wysiłków badawczych, administracyjnych i projektowych. Z jednej strony, sprzyjało to sponsorowaniu badań stosowanych nad rozwojem technologii oraz rozwijania technik projektowych, z drugiej zapewniało praktyczną realizację efektywnych ekonomicznie i energetycznie obiektów, na obszarach zarządów wodnych w Holandii. Natomiast realizacja tych obiektów przyczyniała się do dalszego rozwoju i nowych praktycznych zastosowań. Z drugiej strony, firma projektowa o międzynarodowym działaniu, wraz z firmami/ oddziałami w różnych państwach świata, promuje powyższą technologię za granicą i zapewnia jej prawidłową realizację i sprzedaż licencji. Wymaga to oczywiście wzajemnej współpracy we wspólnej sprawie, nie tylko dla dobra publicznego ale i dla celów ekonomicznych.

Zastosowania technologii Nereda w nastąpiło, po raz pierwszy w Polsce na oczyszczalni ścieków w Rykach, stanowiącej obecnie w kraju obiekt referencyjny dla tej technologii. Wyniki z działania oczyszczalni wskazują, że osiągnęła wymagany efekt ekologiczny, konieczna jest jednak ocena jej działania w dłuższym okresie czasu. Oczyszczalnia Rykach stanowi również doskonały przykład zastosowania innowacyjnej technologii w ramach Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. W kraju, technologia doczekała się wydania monografii

autorstwa prof. J. Podedwornej i P. Piechy w 2017 roku [8]. Wspomaganie tej technologii materiałami pylistymi zaproponowała dr inż. Joanna Czarnota [9].

Obecnie na świecie, działa już kilkanaście komunalnych oczyszczalni ścieków, w państwach takich jak: Holandia, Południowa Afryka, Australia, Brazylia, Wielka Brytania, Irlandia, Portugalia i Polska, a kilkadziesiąt komunalnych oczyszczalni jest aktualnie w budowie, w różnych państwach świata. Równocześnie, budowane są instalacje pilotowe, czego przykładem jest wybudowana, w roku 2013, instalacja w Utrechcie dla przebadania możliwości zwiększenia istniejącej oczyszczalni ścieków powyżej 500 000 RLM. Najlepsze doświadczenia eksploatacyjne z tej technologii posiada Holandia, gdzie powyższa technologia została opracowana. Polska zdobywa dopiero doświadczenia z pierwszej instalacji, która została uruchomiona na komunalnej oczyszczalni.

## **Bibliografia**

1. Gromiec M.: Nereda – innowacyjna technologia granulowanego osadu czynnego do oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 179-183, 2011.
2. Gromiec M.: Uruchomienie pierwszej w Polsce oczyszczalni ścieków z technologią Nereda w Rykach. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 9, 328-330, 2015.
3. de Kruk M.K.: *Aerobic granular sludge scaling-up a new technology*. Delf University of Technology, The Netherlands 2006.
4. de Kreuk M.K., van Loostrecht M.C.K.: Formulation of aerobic granules with domestic sewage. *Journal Environmental Engineering* 6, 694-697, 2006.
5. STOWA: Raport Nr 29, Nereda Praktijkonderzoeken 2010 – 2012. Amersfoort 2013.
6. Coelho F., de Bruin B.: 2RHDHV Internal Nereda Training – Update full scale experience. World Water Academy, Royal HaskoningDHV, April 14/16, 2015.
7. Giesen A., de Bruin L.M.M., Niermans R.P., van der Roest H. F.: Advances in the application of aerobic granular biomass technology for sustainable wastewater treatment of wastewater. *Water Practice & Technology* 8,1,47-54, 2013.
8. Podedworna J., Piechna P.: *Tlenowy granulowany osad czynny. Koncepcja mechanizmów formowania, właściwości i wymagania technologiczne*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2017.
9. Czarnota J.: *Wspomaganie technologii tlenowego osadu granulowanego materiałami pylistymi*. Rozprawa doktorska. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2018.

## 17. Reaktory z błoną biologiczną

W rozdziale, przedstawiono technologie stosujące reaktory z błoną biologiczną do oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych. Ogólnie reaktory z błoną biologiczną można podzielić na reaktory tlenowe i beztlenowe. Do reaktorów tlenowych z błoną zaliczają się między innymi złoża biologiczne zraszane, które stanowią jeden z najstarszych sposobów biologicznego oczyszczania ścieków. Wraz z wprowadzeniem nowych rodzajów wypełnień z tworzyw sztucznych, znalazły zastosowanie w szeregu innych rozwiązań techniczno-technologicznych. Drugą grupą reaktorów z błoną biologiczną to reaktory beztlenowe i różnego rodzaju reaktory hybrydowe, wykorzystujące zarówno zalety błon biologicznych jak i biomasy zawieszanej. Należy podkreślić, że reaktory z błoną biologiczną, w tym szczególnie reaktory hybrydowe, przeżywają obecnie na świecie swój renesans. Rozdział oparto o rozszerzoną publikację [1].

### 17.1. Reaktory tlenowe i beztlenowe z błoną biologiczną

Istnieje dużo rodzajów tlenowych reaktorów biologicznych z błoną biologiczną i rozwiązań techniczno-technologicznych z nimi związanych, szczególnie w postaci złóż biologicznych, takich jak:

**Rodzaje tlenowych złóż biologicznych.** W zależności od sposobu zapewnienia kontaktów ścieków z błoną biologiczną można wyróżnić:

- złoża zalewane (mające znaczenie historyczne),
- złoża zanurzone z ruchomym wypełnieniem, głównie w formie złóż obrotowych),
- złoża zanurzone z nieruchomym wypełnieniem, z napowietrzaniem,
- złoża zraszane.

Istnieje szereg innych podziałów tlenowych złóż biologicznych, w zależności od:

- wielkości zakresu obciążenia: nisko, średnio, wysoko i bardzo wysoko obciążone,
- wysokości wypełnienia: niskie, średnie i wysokie (wieżowe),
- sposobu napowietrzania: z naturalnym i sztucznym napowietrzaniem lub natlenianiem sztucznym tlenem,
- recyrkulacji: z lub bez recyrkulacji,
- przykrycia: otwarte, przykryte.
- rodzaju wypełnienia: o wypełnieniu konwencjonalnym i o wypełnieniu z tworzyw sztucznych.

**Rodzaje wypełnień z tworzyw sztucznych.** Wykonywane jako wypełnienia luźne lub w pakietowe z płyt falistych. W Europie, stosowano przykładowo wypełnienie typu BIOdek, produkowane zarówno jako pakiety o przepływie pionowym i z przepływem krzyżujących się strug ścieków, jak też wypełnienie w postaci cylindrycznych rur siatkowych typu Bio-Net oraz wiszących siatek typu Sessil. W Ameryce Północnej, stosowano wypełnienia pakietowe, w postaci połączonych ze sobą płyt falistych, pod nazwami handlowymi: Dowpac, Surfpac, Flocor i Koroseal Vinyl Core, czy wypełnienia luźne pod nazwami handlowymi: Flexirings i Filterpac. W kraju, jako wypełnienia nasypowe stosowano pierścienie typu Palia i kule typu Bado, natomiast jako wypełnienia pakietowe z płyt falistych, o przepływie pionowym, stosowano między innymi pakiety typu BT, a o przepływie krzyżujących się strug ścieków – pakiety typu EK. Popularność zyskały również pakiety Terrapol, o powierzchniach właściwych 100 – 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Stosowano również wypełnienie siatkowe w postaci zwisających pasm z tworzyw sztucznych.

Wprowadzenie wypełnień z tworzyw sztucznych, z PCV lub propylenu, umożliwiło znaczne zwiększenie obciążeń ładunkiem zanieczyszczeń oraz obciążeń hydraulicznych, co zwiększyło zastosowanie złóż [2-3].

**Modyfikacje oczyszczalni ścieków.** Ciągłe udoskonalenie wypełnień z tworzyw sztucznych złóż biologicznych zwiększyło zakres zastosowania złóż do oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych, szczególnie przy modyfikacji oczyszczalni ścieków. Istnieje wiele sposobów modyfikacji oczyszczalni z przeciążonymi złożami, co związane jest z występującymi dużymi różnicami pomiędzy poszczególnymi oczyszczalniami. Ogólnie można przyjąć, że złoża biologiczne zaczęły coraz częściej spełniać rolę jako urządzeń do wstępnego biologicznego oczyszczania ścieków, szczególnie ścieków przemysłowych.

**Układy technologiczne z reaktorami z błoną biologiczną.** Istnieje szereg rozwiązań oczyszczalni ścieków z reaktorami z błoną biologiczną, które stosują złoża w różnych układach technologicznych, przykładowo jako:

- **Złoże biologiczne aktywowane** (ang. activated biofilter process, ABF), stanowi złożę z recyrkulacją błony biologicznej, co pozwala na utrzymaniu wysokiego stężenia błony na wypełnieniu.
- **Złoże biologicznie aktywowane – osad czynny** (ang. biofilter activated sludge process, BF/AS), w którym po złożu z recyrkulacją błony następuje komora osadu czynnego z recyrkulacją osadu na złożę.
- **Złoże buforowe-osad czynny** (ang. roughing filter activated sludge process), w którym złożę buforowe, umieszczone przed komorą osadu czynnego, zabezpiecza osad czynny przed gwałtownymi zmianami stężenia ścieków.

- **Złoże z osadnikiem pośrednim – osad czynny** (trickling filter activated sludge process, TF/AS), w którym podłożu z osadnikiem pośrednim następuje komora osadu czynnego z recykulacją osadu z osadnika przed komorę.
- **Złoże biologiczne z wtórnym procesem kontaktowym** (trickling filter solids kontakt process, TF/SC), który może występować w trzech wariantach technologicznych: złoże z komorą kontaktową, złoże z komorą napowietrzania osadu, złoże z komorą kontaktową i komorą napowietrzania osadu. Wariant pierwszy jest stosowany gdy odpływ ze złoża zawiera stosunkowo dużą zawartość rozpuszczonych substancji organicznych, a wariant drugi gdy odpływ ze złoża posiada stosunkowo niskie stężenie rozpuszczonych substancji organicznych i wysokie stężenie zawiesiny. Wariant trzeci może być stosowany gdy odpływie ze złoża konieczne jest usuwanie zarówno rozpuszczonych substancji organicznych jak i zawiesiny.

**Złóża nityfikacyjne** (ang. nitrifying filter process, NTF) oczyszczonych ścieków, przykładowo za pomocą złóż lub metody osadu czynnego, zostały po raz pierwszy zastosowane w USA, przez firmę Dow Chemical Company. Przy projektowaniu tych złóż, stosowanych jako urządzenia trzeciego stopnia oczyszczania, przyjmuje się zazwyczaj obciążenia w wysokości  $0.4 \text{ g N-NH}_4 / \text{m}^2 \text{ d}$ , przy założeniu temperatury ścieków  $10^\circ\text{C}$ . Istnieje również rozwiązanie w postaci **złóż nityfikacyjnych z kontrolowaną błoną biologiczną** (ang. biofilm controlled nitrifying trickling filters process, BCNTF), pozwalający na zastosowanie większych obciążeń niż podane powyżej.

**Złóża denityfikacyjne** (ang. denitryfing filter process) zostały zastosowane do usuwania  $\text{N-NO}_x$ . Po modyfikacji polegającej głównie na uszczelnieniu złóż za pomocą zakrycia z tworzyw sztucznych uzyskuje się redukcję  $\text{N-NO}_x$  w wysokości ponad 80%.

**Złóża z chemicznym usuwaniem fosforu**, które następuje w wyniku procesu koagulacji przy zastosowaniu głównie soli żelaza lub glinu. Oprócz usuwania fosforu, następuje również redukcja  $\text{BZT}_5$  i zawiesiny. Praktyka wykazała, że preferowanym miejscem wprowadzania chemikaliów są osadniki, a nie samo złoże biologiczne.

**Złóża zanurzone/napowietrzane.** Złóża tlenowe napowietrzane z ruchomym wypełnieniem występują między innymi w formie **złóż obrotowych tarczowych**. Złóża obrotowe posiadają wypełnienie w postaci tarcz z tworzyw sztucznych. Tarcze posiada średnicę do 4 m, a długość wału obrotowego do 8 m, przy czym powierzchnia wypełnienia standardowego na wale długości 8 m wynosi około



10 000 m<sup>2</sup>, a wypełnienia o gęstej strukturze – 16700 m<sup>2</sup>. W kraju, zastosowano takie rozwiązania na oczyszczalniach ścieków. Za granicą, zastosowano również rozwiązanie złoża z czerpakami. Do oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych znalazły również złoża zanurzone napowietrzane. Rozwiązanie to stanowi pewnego rodzaju rozwiązanie hybrydowe, wykorzystujące biocenozy osiadłe i zawieszane.

**Reaktory beztlenowe z błoną biologiczną.** Nastąpił rozwój beztlenowego oczyszczania ścieków, między innymi w postaci reaktorów beztlenowych z błoną biologiczną i istnieje szereg tych reaktorów, a mianowicie:

- Reaktor z nieruchomym wypełnieniem, w którym błona pokrywa stacjonarne wypełnienie.
- Reaktor z ruchomym wypełnieniem, przykładowo obrotowe złożo beztlenowe.
- Reaktor z rozszerzającym się wypełnieniem, w którym nośne wypełnienie występuje w postaci przykładowo antracytu, lub z tworzywa sztucznego, przy czym wielkość średnicy wypełnienia granulowanego jest zbliżona do średnicy wypełnienia w reaktorach fluidalnych, lecz często nieznacznie większa.
- Reaktory fluidalne, w którym nośne wypełnienie, przykładowo piasek, węgiel aktywny, ziarna granitowe, ulega powiększeniu za pomocą prędkości ścieków, której utrzymanie wymaga wysokiego stopnia recyrkulacji, a ziarna nośne nie mają ustalonej pozycji w złożu.
- Reaktory z wypełnieniem recyrkulowanym, w których wypełnienie utrzymywane jest w zawieszeniu za pomocą mieszania mechanicznego (lub mieszania gazem). Rozdzielenie wypełnienia od błony następuje w separatorze (osadniku), z którego błonę zawraca się do reaktora.

Przy zastosowaniu reaktora z nieruchomym wypełnieniem, zamiast z ruchomym wypełnieniem, nie potrzebna jest recyrkulacja i uzyskuje się dobrą stabilność przy nagłych wzrostach obciążeń hydraulicznych i obciążeń organicznych.

Chociaż reaktor beztlenowy z warstwą zawieszono osadu (UASB) zalicza się zazwyczaj do reaktorów beztlenowych z osadem czynnym, to można go uznać za urządzenie hybrydowe pomiędzy reaktorem osadem czynnym utrzymywany w zawieszeniu, a reaktorem z błoną biologiczną, głównie ponieważ kłaczki osadu utrzymywane w zawieszeniu posiadają strukturę błony biologicznej i kształt o charakterze granulowanym, o średnicy 1-5 mm.

## 17.2. Zalety i wady sposobów beztlenowych z błoną biologiczną

Sposoby beztlenowe oczyszczania ścieków wykazują szereg zalet nad sposobami tlenowymi, a mianowicie:



- produkowany metan posiada wartość energetyczną i znaczna część zapotrzebowania energetycznego może być pokryta poprzez jego wykorzystanie,
- powstają mniejsze ilości osadów na jednostkę usuniętego ładunku zanieczyszczeń,
- niższe jest zapotrzebowanie na substancje biogenne,
- niepotrzebne są urządzenia do napowietrzania.

Do wad sposobów beztlenowych, w porównaniu do sposobów tlenowych, należą:

- niepełny rozkład substancji organicznych, z czego wynika konieczność wprowadzenia dodatkowego stopnia oczyszczania,
- potrzeba podgrzewania ścieków w pewnych warunkach, z uwagi na wymaganą temperaturę dla procesów beztlenowych.

Beztlenowe oczyszczanie ścieków nie jest odpowiednie dla każdego przypadku, a na podstawie doświadczeń praktycznych można stwierdzić co następuje:

1. Do beztlenowego oczyszczania ścieków nadają się szczególnie ścieki o charakterze organicznym, które ulegają beztlenowej biodegradacji. Do ścieków tych można zaliczyć między innymi ścieki z przemysłu rolno-spożywczego. Istnieją przykłady zastosowania beztlenowego do oczyszczania ścieków komunalnych, zawierających ścieki przemysłowe.
2. Maksymalną sprawność procesów beztlenowych osiąga się zazwyczaj w temperaturze 30-35°C, a w przypadku ścieków o niższej temperaturze wykorzystuje się biogaz do kontroli temperatury w reaktorze.
3. Beztlenowe sposoby oczyszczania ścieków wysoko stężonych ścieków, nawet przy wysokim stopniu redukcji zanieczyszczeń, w wyniku wysokiego stężenia odpływu, wymagają dodatkowego oczyszczania tlenowego.
4. Ekonomiczne zastosowanie beztlenowego oczyszczania ścieków wymaga wykorzystania biogazu do celów energetycznych.

Decyzja o zastosowaniu beztlenowego oczyszczania ścieków powinna być podjęta po porównawczej analizie ekonomicznej dla alternatywnego rozwiązania. Przy wyborze wypełnienia dla złóż beztlenowych ważne są następujące parametry: powierzchnia właściwa wypełnienia i jego konfiguracja, a wpływ tych parametrów będzie różny dla reaktorów o przepływie z dołu do góry i z góry na dół. Stopień ryzyka zatkania się jest różny dla złóż beztlenowych o różnych konfiguracjach dlatego istotne są badania pilotowe. Aspekty energetyczne odgrywają istotną rolę przy stosowaniu sposobów beztlenowych. Równie ważne mogą okazać się możliwości oczyszczania ścieków o charakterze toksycznym i mniejsze ilości powstających osadów. Wadą reaktorów z nieruchomym wypełnieniem są trudności z kontrolą grubości błony, co jednak może prowadzić do zatykania się wypełnienia.

Procesy beztlenowe z błoną biologiczną wykazują następujące zalety w porównaniu do procesów beztlenowych z zawieszonym osadem:

- można uzyskać bardzo wysokie stężenie masy mikroorganizmów na jednostkę reaktora, przez co zmniejsza się jego wymagana objętość,
- wiek osadu pozostaje wysoki także przy niskich hydraulicznie czasach przepływu,
- bakterie o powolnym wzroście przechodzą fazę wzrostu w błonie biologicznej, stąd unikają wypłukania przy wysokich obciążeniach hydraulicznych,
- zazwyczaj nie wymagane jest oddzielenie osadu po reaktorze beztlenowym z błoną biologiczną, oprócz reaktora z wypełnieniem recyrkulowanym,
- uzyskuje się dobre zabezpieczenie przed działaniem substancji biogennych,
- potrzebne jest mieszanie, oprócz reaktora z wypełnieniem recyrkulowanym.

**Przykład zastosowania reaktora tlenowego z błoną biologiczną w kraju.** Poniżej przedstawiono przykład zastosowania technologii złóż biologicznych na miejsko-przemysłowej oczyszczalni ścieków w Sierpcu, w realizację której wniósł również udział autor, kierując badaniami w skali pilotowej. Przepływ ścieków wynosi około 6400 m<sup>3</sup>/d, natomiast po zmodernizowaniu 7500 m<sup>3</sup>/d, a na oczyszczalnię dopływają ścieki bytowo-gospodarcze oraz ścieki z zakładów przemysłowych, głównie z Browaru Carlsberga. Odpowiada to oczyszczalni o wielkości oczyszczalni o wielkości 134 tys. RLM. Oczyszczalnia osiąga wysokie stopnie redukcji zanieczyszczeń: BZT<sub>5</sub> powyżej 99%, ChZT powyżej 96%, zawiesiny 97%, azot powyżej 97% i fosfor 91%, przy niskim zużyciu energii wynoszącym 0,67 kWh/kg BZT<sub>5</sub> zredukowanego. Wysoka sprawność oczyszczania ścieków i niskie zużycie energii związane są działaniem złóż biologicznych z wypełnieniem z tworzyw sztucznych (typ EK), działających jako urządzenia buforowe, poprzedzające komory z osadem czynnym.

### 17.3. Podsumowanie

Reaktory z błoną biologiczną, szczególnie w postaci złóż biologicznych, stanowią jeden z najstarszych sposobów oczyszczania ścieków. Na świecie, reaktory z błoną biologiczną przeżywają renesans. Zrealizowano wiele nowoczesnych rozwiązań w pełnej skali technicznej i nowych układach technologicznych. Na uwagę zasługują reaktory z błoną biologiczną w postaci złóż nityfikacyjnych i denityfikacyjnych. Pojawiło się również szereg rozwiązań hybrydowych wykorzystujących zalety kultur bakteryjnych osiadłych i zawieszonych, które działają w wielu państwach w pełnej skali technicznej. W Polsce, przez dłuższy czas rozwój technologii i rozwiązań reaktorów z błoną biologiczną zahamował, praktycznie do początku lat 90-tych, brak krajowej produkcji nowoczesnych wypełnień z tworzyw sztucznych. Szczególnie dotyczyło to rozwiązań ze złożami biologicznymi.

Opracowanie wypełnienia pakietowego (typ EK) w ramach prac badawczych CPBR 11.10, a następnie uruchomienie produkcji wypełnienia pakietowego, przez producenta prywatnego, spowodowało zainteresowanie w jego zastosowaniu w wielu oczyszczalniach w kraju, czego powodem była: stosunkowo wysoka efektywność oczyszczania, odporność na zmiany składu ścieków, niska energochłonność, prostota eksploatacji oraz możliwość wykorzystania istniejących urządzeń po ich modyfikacji. Niestety, producent zainteresowany był głównie produkcją na eksport, w celu ich wykorzystania przy budowie chłodni kominowych. Zalety złóż biologicznych stwarzały również możliwości ich zastosowania do oczyszczania ścieków przemysłowych podatnych na rozkład biologiczny. W przyszłości, mogą pojawiać się nowe rozwiązania wypełnień o zupełnie nowych konfiguracjach, stwarzających nowe warunki dla przepływu ścieków, ich mieszania i warunków do natleniania, wzrostu i zrzucania błony biologicznej [3]. Pojawiło się przykładowo nowe wypełnienie typu Biopipe o powierzchni właściwej wynoszącej  $600 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Powyższe rozwiązania będą wpływać na skład błony biologicznej i aktywność organizmów, powodując usuwanie określonych rodzajów zanieczyszczeń. Stwarza to możliwości skonstruowania wypełnienia hybrydowego dla reaktorów biologicznych, które zapewniłoby warunki dla rozwoju błony w jednej części wypełnienia oraz warunki dla osadu czynnego w innej części tego wypełnienia. Na możliwości efektywnego zastosowania złóż biologicznych, w małych i średnich oczyszczalniach ścieków, wskazuje książka, wydana w roku 2020 [4].

## **Bibliografia**

1. Gromiec M.: Technologie oparte o reaktory z błoną biologiczną do oczyszczania ścieków miejskich i przemysłowych. W: Zastosowanie nowych technologii w sektorze ochrony środowiska (red. M. Gromiec, N. Słowik). Wyd. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska. Realizacja: Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk. Warszawa 2006.
2. Gromiec M.J. Malina J.F., Eckenfelder W.W.: Performance of plastic media trickling filter. *Water Research* 6,11, 1321-1332, 1972.
3. Gromiec M.: Złóża biologiczne o wypełnieniu z tworzyw sztucznych. W: Nowa technika w Inżynierii Sanitarnej, Wodociągi i Kanalizacja 5,136-173. Wyd. Arkady. Warszawa 1975
4. Heidrich Z., Stańko G., Wróblewski J.: Złóża biologiczne w małych i średnich oczyszczalniach ścieków. Wydawnictwo Seidel-Przywecki 2020.

## 18. Filtry tkaninowe do ścieków

Powszechnie przyjmuje się, że filtracja stanowi proces usuwający z oczyszczanej cieczy cząstek o średnicy większej od średnicy porów materiału filtracyjnego. W uzdatnianiu wody, jest to proces stosowany powszechnie od bardzo dawna, w różnych rodzajach filtrów, takich jak: grawitacyjne i ciśnieniowe, powolne i pospieszne, jedno- i wielowarstwowe, otwarte i zamknięte, ze złożem niskim i wysokim, które różnią się dodatkowo rozwiązaniami konstrukcyjnymi oraz kierunkiem przepływu przez złożę filtracyjne [1]. W oczyszczaniu ścieków, wprowadzane ostre standardy jakościowe powodują konieczność poszukiwania nowych rozwiązań, zwiększających efektywność biologicznych oczyszczalni ścieków. Łączy się to między innymi z odnową wody ze ścieków do różnych celów i zaleceniami zdrowotnymi w stosunku do wtórnego wykorzystania oczyszczonych ścieków. Jednym z takich rozwiązań są filtry z różnymi tkaninami filtracyjnymi, których zastosowanie w praktyce zwiększa się szczególnie w Europie [2].

### 18.1. Filtry oparte o nowe tkaniny filtracyjne

W ostatnim czasie, pojawiło się szereg rozwiązań konstrukcyjnych filtrów tkaninowych do ścieków, takich jak:

- filtry bębnowe – dla małych ilości ścieków i obciążeń,
- filtry dyskowe – dla wysokich przepływów ścieków, w prefabrykowanych lub betonowych zbiornikach,
- filtry prostokątne – dla bardzo dużych przepływów ścieków, w betonowych zbiornikach.

Stosowane są tkaniny filtracyjne z różnych materiałów, w tym tkanina standardowa mająca włókna o średnicy około 25 mikronów, co powoduje, że obliczony stosunek wysokości filtracyjnej do średnicy włókien ( $H/d$ ) wynosi 200. Konkurencyjnymi rozwiązaniami w stosunku do filtrów tkaninowych są sita i filtry piaskowe. Sita oferowane są przez różnych producentów jako filtry, pomimo tego, że nimi nie są. Interesującym jest porównanie stosunku  $H/d$  dla sit i filtrów piaskowych z filtrami tkaninowymi. Dla sit, przy zastosowaniu typowych materiałów, stosunek  $H/d = 2-5$ , natomiast, dobrze zaprojektowane filtry pośpieszne z jednym medium (piasek), mają stosunek  $H/d = 900$ , przez co charakteryzują się doskonałą efektywnością, ale mają duże rozmiary i koszty. Filtry z tkanina filtracyjną z mikrowłókien, gdzie  $H = 7$  mm (po nawilżeniu) i średnica  $d = 7$  mikronów, posiadają stosunek  $H/d = 715$ , to jest tylko około 20% mniejszy niż filtry piaskowe. Dlatego, filtry z tkaniną są bardzo skuteczne w usuwaniu zawiesiny, bowiem im wyższe  $H/d$ , tym lepsza efektywność filtracji.

Proces filtracji tkaninowej nazwany został procesem PCMF (ang. Pile Cloth Media Filtration). Zastosowana tkanina filtracyjna z mikrowłókien składa się z tysięcy bardzo cienkich włókien z nylonu czy polistyrenu o długości 15 mm. Każde włókno filtracyjne działa jak długie ziarenko piasku, ale po nawilżeniu, włókna nawarstwiają się na siebie tworząc barierę dla cząsteczek dochodzących do tkaniny, tak jak głębokie piaskowe złoża filtracyjne. Im większa warstwa włókien, tym większe szanse na wychwycenie cząsteczek i ich usunięcie. Tkanina o charakterze włosowym doskonale zatrzymuje zawiesiny, a proces filtracji jest ciągłym i nie zatrzymuje się podczas płukania zwrotnego. Nasadka zasycająca ściska warstwę włókien przed zwrotnym strumieniem wody wywołanym przez pompy płukania zwrotnego.

## **18.2. Filtry z tkaniną filtracyjną z mikrowłókien**

Filtry tkaninowe, z różnymi materiałami filtracyjnymi, pojawiły do praktycznego oczyszczania ścieków na początku lat 90-tych XX wieku., będąc pewną opcją dla rozwiązań z materiałami filtracyjnymi sypkimi, membranami i sitami. Filtry tkaninowe produkowane były przez różnych producentów, o różnej geometrii urządzeń, przy czym najbardziej powszechnym rozwiązaniem okazały się filtry dyskowe.

Filtry z tkaniną podobną do futer (tzw. OptiFiber), występującą w trzech rodzajach, produkowane są w fabryce firmy Mecana w Szwajcarii, która pierwsza opatentowała proces filtracji tkaninowej. Sukces handlowy szwajcarskiej firmy sprawił, że została zakupiona przez amerykańską firmę Aqua – Aerobic Systems Inc., którą następnie kupiła grupa japońska – Metawater Company [3]. Obecnie istnieje szereg światowych oraz europejskich dystrybutorów tych urządzeń, takich jak firma Lliquo Hydrotok w Wielkiej Brytanii, która wytwarza systemy kontrolne do tych filtrów.

W rozdziale przedstawiono filtry z tkaniną filtracyjną z mikrowłókien, które stosowane są obecnie głównie do usuwania ze ścieków: zawiesiny ogólnej, fosforu oraz mikrozanieczyszczeń. Tkanina montowana jest na elementach z tworzywa sztucznego, mocowanych obok siebie i tworzących pionowe dyski, lub też na stalowym bębnie. Pionowa powierzchnia filtracji wymaga małej przestrzeni i jest stosunkowo łatwa w czyszczeniu.

Produkowane urządzenia filtracyjne obejmują: filtry bębnowe (o przepływie jednego filtra do 60 m<sup>3</sup>/h), filtry dyskowe (o przepływie jednego filtra do 2400 m<sup>3</sup>/h), jak też filtry prostokątne o nazwie handlowej Aqua Diamond z mostem ruchomym dla większych przepływów ścieków, wprowadzonych od 2004 roku. Główne wykorzystanie tych urządzeń filtracyjnych jest jako trzeci stopień oczyszczania

ścieków przed zrzutem do odbiornika wodnego, w tym wykorzystania odpływu jako wody technologiczne. Istnieją dwie wersje tych urządzeń: betonowa i stalowa ze stali nierdzewnej. Do badań pilotowych stosowane są filtry o powierzchni filtracyjnej do 10 m<sup>2</sup>, istnieją też filtry do badań laboratoryjnych o powierzchni filtracyjnej 0,04 m<sup>2</sup>.

### 18.3. Zalety i zastosowanie filtrów tkaninowych

Główne zalety filtrów tkaninowych to:

- wysoka efektywność oczyszczania ścieków,
- możliwość pracy nawet przy dużych obciążeniach,
- praca ciągła i małe straty ciśnienia,
- małe zapotrzebowanie na energię,
- łatwy montaż i eksploatacja,
- mała powierzchnia do zabudowy.

Filtry tkaninowe zastosowane zostały do oczyszczania ścieków w różnych przypadkach, szczególnie takich jak:

- filtracja ścieków biologicznie oczyszczonych dla redukcji zawiesiny, często przed dezynfekcją ścieków za pomocą promieni UV,
- redukcja fosforu ze ścieków biologicznie oczyszczonych, często w połączeniu z koagulacją i flokulacją,
- do usuwania mikrozanieczyszczeń, często w połączeniu z zastosowaniem węgla aktywnego,
- do usuwania cząsteczek z tworzyw sztucznych,
- do oczyszczania wód deszczowych.

Redukcja zawiesiny ogólnej w odpływie z osadników wtórnych, przed zrzutem do odbiornika wodnego, stanowi istotne zastosowanie filtrów tkaninowych, które umożliwia późniejszą dezynfekcję ścieków promieniami UV bardziej efektywną, tym samym skuteczniejszą ochronę wód oraz możliwości zastosowania oczyszczonego odpływu do różnych celów.

Zastosowanie filtrów tkaninowych, po biologicznym oczyszczaniu, stawia wysoki cel uzyskania stężenia fosforu ogólnego w wysokości poniżej 0,1 mg P/l. Taka wysoka redukcja fosforu ogólnego, ze ścieków biologicznie oczyszczonych, jest możliwa do uzyskania po zastosowaniu procesu filtracji (PCMF), często wspomaganego procesem ultrafiltracji (UF) lub innymi procesami. W badaniach pilotowych w Wisconsin (USA), z procesem filtracji (PCMF), poprzedzonym komorą z dodatkiem polimeru i koagulantów oraz komorą flokulacyjną, uzyskano w odpływie stężenie tzw. niereakcyjnego fosforu rozpuszczonego nawet w wysokościach 0,02-0,08 mg P/l [4]. W Wielkiej Brytanii, na oczyszczalniach z procesem filtracji

(PCMF) uzyskano w odpływie następujące wielkości fosforu ogólnego: w Staveley – 0,08 mg/dm<sup>3</sup>, w North Tawon – 0.13 mg/l], otrzymując bardzo niskie stężenie fosforu w odpływie przy zastosowaniu dwu-stopniowych tkanin filtracyjnych (standardową i z mikrowłókien) [5].

Filtry tkaninowe mogą również służyć do redukcji różnych mikrozanieczyszczeń w zastosowaniu z węglem aktywnym w postaci przykładowo procesu PAC (ang. Powdered Activated Carbon), czy też przed oczyszczaniem membranowym. Rozwiązanie takie zastosowano na oczyszczalni w Laichingen, Niemcy, uruchomionej w 2015 roku. Również mikroplastyki stanowią zagrożenie dla środowiska, szczególnie dla środowiska wodnego, zarówno dla środowiska wody słodkiej, jak i słonej. Trwają poszukiwania efektywnych metod do usuwania małych cząstek z tworzyw sztucznych, czego przykładem mogą być badania nad zastosowaniem do tego celu wielowarstwowego biofiltru [6]. Wykazano również, że istnieją możliwości zastosowania filtrów tkaninowych do usuwania cząstek z tworzyw sztucznych ze ścieków, o czym świadczą między innymi badania przeprowadzone przez duński Uniwersytet Aalborg na oczyszczalni ścieków w Grindsted [7]. Oczyszczalni oczyszcza 10 tys. m<sup>3</sup> /d ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych o stężeniu ChZT około 570 mg/l za pomocą wstępnej sedymentacji, metody osadu czynnego z usuwaniem biogenów, wtórnej sedymentacji, co powoduje, że odpływ z osadnika wtórnego zawiera zawiesiny ogólne w wysokości 20 mg/dm<sup>3</sup>. Odpływ oczyszczano na filtrze dyskowym firmy Hydrotech, z wypełnieniem siatką poliestrową o porach wynoszących 18 mikronów, przy przepływie przez filtr 1200 m<sup>3</sup> /h, uzyskując w odpływie stężenie 3-8 mg/l zawiesiny ogólnej. Następnie odpływ był dodatkowo filtrowany na filtrze z siatką wynoszącą 10 mikronów. Badania usuwania cząstek z tworzyw sztucznych ze ścieków poprzez filtrację tkaninową wykazały, że zastosowana technologia obniża stężenie cząstek z tworzyw sztucznych w ściekach. Uzyskana efektywność obniżenia liczby cząstek z tworzyw sztucznych wyniosła, w tym przypadku, około 90%, a zmniejszenie masy usuniętych cząstek – około 76%. Niezbędne są dalsze badania w tym względzie [8].

Możliwe jest zastosowanie filtrów tkaninowych do oczyszczania wód deszczowych. Proces filtracji, zastosowany po osadnikach wtórnych, spełnia wówczas dwie funkcje: oczyszczania ścieków trzeciego stopnia i oczyszczania wód opadowych [9-10]. Rozwiązanie takie zostało zastosowane na oczyszczalni w Rushville, Indiana (USA), przy czym wprowadzono również dwie dodatkowe opcje: bypass wód opadowych po osadniku wstępnym do filtra tkaninowego, jak też bezpośrednie doprowadzenie wód deszczowych do procesu filtracji tkaninowej. Na odpływie ścieków uzyskiwano: średnie stężenie zawiesiny ogólnej w wysokości 2-5 mg/l (przy średniej redukcji zawiesiny ogólnej wynoszącej 95%) i stężenie biologicznego



zapotrzebowania tlenu ( $BZT_5$ ) w wysokości od 3-18 mg/l (przy średniej redukcji  $BZT_5$  w wysokości 80,5%). Ładunek zanieczyszczeń w rzutach burzowych, wyrażony w kilogramach zawiesiny, został zredukowany w 73%, co pozwoliło również na efektywniejsze zastosowanie dezynfekcji oczyszczonych ścieków za pomocą UV.

Zastosowanie filtrów tkaninowych, zamiast osadników wstępnych, może przynieść oszczędności energii, podczas dalszego procesowania ścieków i osadów [11]. Poniżej przedstawiono zastosowanie filtrów tkaninowych jako trzeci stopień oczyszczania ścieków, uprzednio oczyszczonych biologicznie:

- oczyszczalnia ścieków w Oldenburgu, Niemcy – uruchomienie grudzień 2006 rok, przepływ 5800 m<sup>3</sup>/h, powierzchnia filtracji 840 m<sup>3</sup> (16 filtrów dyskowych x 60 m<sup>2</sup>), zawiesina w odpływie < 5 mg/dm<sup>3</sup>,
- oczyszczalnia ścieków w Kilonii, Niemcy – uruchomienie grudzień 2011 rok, przepływ 3600 m<sup>3</sup>/h (6 filtrów), powierzchnia filtracji 450 m<sup>3</sup> (6 filtrów dyskowych x 75 m<sup>2</sup>), planowana powierzchnia 800 m<sup>3</sup>, zawiesina w odpływie < 5 mg/dm<sup>3</sup>,
- oczyszczalnia w Carraixet, Hiszpania – filtry przed lampami UV, przepływ 1670 m<sup>3</sup>/h, powierzchnia filtracji 180 m<sup>2</sup> (6 filtrów dyskowych x 30 m<sup>2</sup>),
- oczyszczalnia w Londyn Deephams, Anglia – uruchomienie lipiec 2015 rok, przepływ 14770 m<sup>3</sup> /h, powierzchnia filtracji 1080 m<sup>3</sup>, zawiesina w odpływie < 5 mg/l

#### 18.4. Podsumowanie

Wzrost zastosowania filtrów do oczyszczania ścieków w zasadzie nastąpił dopiero w XXI wieku, umożliwiony wprowadzeniem nowych materiałów filtracyjnych i rozwiązań. technicznych. Opracowanie filtrów dyskowych z tkaniną filtracyjną z mikrowłókien znacznie przyspieszyło proces ich instalowania na oczyszczalniach ścieków, do różnych zastosowań praktycznych. Filtry tkaninowe, w różnych konfiguracjach, zostały zainstalowane na ponad 3000 oczyszczalniach ścieków, których największa instalacja ma przepływ około 800 000 m<sup>3</sup>/d. W układach technologicznych oczyszczalni ścieków, stosowanie procesu filtracji następuje w różnych miejscach: od zastąpienia osadników wstępnych filtrami tkaninowymi. do zastosowania filtrów tkaninowych do oczyszczania przelewów wód burzowych. W szeregu przypadkach, lepsza redukcja zawiesiny ogólnej i  $BZT_5$  ze ścieków za pomocą filtrów, niż osadników wstępnych, powoduje: nie tylko większą ilość osadów dla komór fermentacyjnych i większą ilość produkowanego biogazu, ale też mniejszą ilość energii niezbędnej do napowietrzania ścieków w metodzie osadu czynnego. W technologii wody istnieją pewne możliwości zastosowania filtrów

tkaninowych do odzysku wody z płukania filtrów. Promocją zastosowania filtracji tkaninowej dla wody i ścieków w kraju zajmuje się Europejskie Centrum Ekologiczne -Krevox, które planując pierwsze wdrożenia na wybrzeżu.

## **Bibliografia**

1. Kowal A., Świdrska-Bróz M.: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2003.
2. Gromiec T.: Zastosowanie technologii mikrowłókien w ochronie wód powierzchniowych. Ekogmina – II Forum Praktyków pt. Zrównoważone zarządzanie gospodarką wodno-kanalizacyjną w gminach. Jachranka, 5-6 czerwca 2019.
3. Pile cloth media filtration. Mecana – A Metawater Company, 2020.
4. Stanish S.: Achieving low total phosphorus with cloth media filtration. Report. Aqua-Aerobic Systems, Inc
5. Smith L. i inn.: Phosphorus removal at an ASP and filter works using Mecana filter technology – findings and experiences from CIP (Collaborative, Imperial Research) P trials. Big P Conference, 4-5 July, 2017.
6. Liu F., Nord N.B., Bester K., Vollertsen J.: Microplastic removal from treated wastewater by a biofilter. *Water* 12,1985, 2020.
7. Simson M., Vianello A., Vollertsen J.: Removal of > 10 microns microplastic particles from treated wastewater by a disc filter. *Water* 11, 1935, 2019.
8. Wąsowski J., Bogdanowicz A.: *Mikroplastyki w środowisku wodnym*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2020.
9. Huges M.: Pilot studies of combined sewer overflow treatment using cloth media filtration technology. Report. Aqua-Aerobic Systems, Inc.
10. Gress S.P., Dyson J.D.: Testing, design and full scale operation of the first installed pile cloth media discs filters for combined tertiary and wet weather treatment. Michigan WEA Wastewater Administrators Conference, January 2019.
11. Ma J.: An innovative energy saving approach to treat primary influent using cloth media filtration technology. Report, Aqua-Aerobic Systems, Inc., May 2015.

## **19. Przeróbka i zagospodarowanie osadów ściekowych**

W Polsce brak jest nowoczesnego prawodawstwa dotyczącego przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych. Rozwiązanie problemów osadów komunalnych utrudnia oparcie prawodawstwa krajowego prawie wyłącznie na prawodawstwie unijnym, które w przypadku osadów liczy ponad 30 lat. Brak jest własnego wkładu prawodawczego związanego z postępem oraz innowacyjnością. Umieszczenie, pod względem prawnym, komunalnych osadów ściekowych, znajdujących na pograniczu gospodarki wodno-ściekowej i gospodarki odpadowej, w prawie o odpadach, również komplikuje rozwiązanie problemu osadowego w kraju w aspekcie kompetencyjnym. Zaciera to granice odpowiedzialności, co z kolei wywiera wpływ na finansowanie. Inicjatywa innowacyjna w tym zakresie spoczywa głównie na samorządach i zależy głównie od odwagi i dalekowzroczności zarządów komunalnych oczyszczalni ścieków. Na świecie, w przypadku realizacji występujących trendów, rozumianych jako tendencje rozwojowe, szczególnie istotnym jest nowy paradygmat dla oczyszczalni ścieków i związana z nim nowa rola systemów ściekowo-osadowych. Nowa rola systemów gospodarki wodno-ściekowej i osadowej powoduje konieczność uwzględniania spójności i integracji zaopatrzenia w wodę, oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych już na poziomie koncepcji ogólnych. Na świecie, najbardziej zaawansowana jest produkcja energii, szczególnie związana z przeróbką osadów ściekowych, ale następuje też istotny postęp w odzysku substancji biogennej ze ścieków i osadów ściekowych.

### **19.1. Problemy z zagospodarowaniem osadów ściekowych**

Zagospodarowania osadów ściekowych w kraju nie nadąża za trendami światowymi. Trendy w zagospodarowaniu komunalnych osadów ściekowych zależą od wielu czynników, do których można zaliczyć między innymi: poziom wiedzy naukowej i technicznej, innowacyjność rozwiązań technologicznych oraz technicznych, prawodawstwo, politykę i strategię wodną – ściekową-osadową, dostępność środków finansowych. Do trendów tych w znacznym stopniu przyczyniają się badania naukowe oraz innowacyjne rozwiązania technologiczne i techniczne. Rośnie ilość piśmiennictwa naukowo – technicznego z tej tematyki, w tym również w formie książkowej. Przykłady doskonałych książek w tym zakresie, wydanych w kraju i zagranicą, obejmują pozycje [1-6]. Rozpoczęła się nowa era dla systemów wodno-ściekowych, związana z produkcją zasobów i energii, istotna dla dalszego rozwoju miast i przeciwdziałania skutkom zmian klimatycznych [7-9]. Należy też uwzględnić, że powstają również innowacyjne rozwiązania dla biologicznego oczyszczania ścieków, które charakteryzują się mniejszym zapotrzebowaniem na

energię elektryczną niż rozwiązania konwencjonalne. Przykładem takiego innowacyjnego rozwiązania jest technologia tlenowego granulowanego osadu czynnego, wdrożona w Polsce w reaktorach opartych o działanie sekwencyjne – SBR.

Wiele istniejących instalacji do przetwarzania osadów ściekowych nie można uznać za wystarczające do pełnego zagospodarowania osadów, jak też nie wszystkie instalacje spełniają aktualne trendy. Szereg miast posiada przykładowo otwarte komory fermentacyjne, stanowiące źródło emisji gazów cieplarnianych i odorów atmosfery do atmosfery, jak też nie wykorzystuje możliwości odzysku energii. Raport przedstawiony przez NIK w 2013 roku świadczy o niewłaściwej gospodarce osadowej w szeregu obiektach kraju. Obecnie, obserwuje się pewien znaczący postęp w tym zakresie, głównie w dużych aglomeracjach, w których zastosowano termiczne przekształcanie osadów ściekowych, co związane jest z koniecznością rozwiązania problemu unieszkodliwiania powstających popiołów.

Osady ściekowe wytwarzane są w sposób ciągły podczas oczyszczania ścieków. Dlatego zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych stanowi problem, występujący na obszarze całego kraju i wymaga ciągłych działań. Rosnące ilości osadów ściekowych związane są głównie z realizacją Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), w ramach którego powstały i ciągle jeszcze powstają nowe/ modernizowane oczyszczalnie. Według GUS-2019, w 2018 roku, ilość wytwarzanych osadów ściekowych komunalnych została oszacowana w wysokości około 600 tys. Mg s.m., z czego 19% komunalnych osadów było przekształcane termicznie, natomiast ogólna ilość osadów przemysłowych i komunalnych wynosiła 1050 tys. Mg s.m. W „Krajowym planie gospodarki odpadami 2014” termiczne przekształcanie osadów ściekowych zostało uznane jako zasadniczą metodę i założono optymistycznie, że w 2018 roku około 60% całkowitej masy tych odpadów (około 424 tys. Mg s.m.) będzie unieszkodliwiane tą metodą. Inną metodę stanowił recykling organiczny.

Właściwe rozwiązywanie narastającego problemu osadów ściekowych wymaga opracowania racjonalnej strategii na poziomie krajowym, a następnie utworzenie i konsekwentną realizację Krajowego Programu Zagospodarowania Osadów Ściekowych (KPZOŚ), w oparciu o opracowane plany regionalne lub zlewniowe. Program ten stanowiłby uzupełnienie i kontynuację KPOŚK. Powstanie takiego programu jest od szeregu lat postulowane przez środowisko naukowe i wspierane przez Polską Izbę „Wodociągi Polskie”, która opracowała pewne modelowe rozwiązania dla zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce [10].

Opracowanie KPZKOŚ wymagałoby dokonania między innymi analizy techniczno-ekonomicznej możliwości utworzenia regionalnych centrów unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych, które mogłyby obejmować swoim zasięgiem kilka oczyszczalni ścieków komunalnych. Oznaczało to, że powinny

zostać podjęte prace nad stworzeniem krajowego i regionalnego systemu unieszkodliwiania i zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych. W pracach tych należało uwzględnić fakt, że osady ściekowe powinny być ponownie wykorzystane, a drogi ich usuwania powinny ograniczyć do minimum skutki niekorzystnego wpływu na środowisko. W grudniu 2014 roku, została wykonana przez Instytut Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej „Ekspertyza, która stanowi materiał bazowy do opracowania strategii na lata 2014-2020” [11]. Dalsze działania nad powyższą strategią przejęło Ministerstwo Środowiska. Ministerstwo Gospodarki, wprowadziło natomiast zakaz składowania osadów ściekowych (posiadających zawartość ogólnego węgla organicznego powyżej 5%) na składowiskach odpadów, który obowiązuje od dnia 1 stycznia 2016 roku, mimo, że nie dysponowaliśmy odpowiednią infrastrukturą do przerobu osadów. Wzrost ilości komunalnych osadów ściekowych i jednocześnie zakaz możliwości ich składowania powoduje, że zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych stało się ważnym zagadnieniem społecznym, ekologicznym i technicznym.

W dniu 17 marca 2016 roku **Komisja Środowiska Senatu RP** podjęła stanowisko na temat innowacyjnego wykorzystania ścieków jako źródła energii i surowców, którego główne tezy i postanowienia są następujące:

- Oprócz tradycyjnych ról przedsiębiorstw wod-kan, do których należy zaopatrzenie w wodę, oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych nową rolą może być produkcja energii surowców. Dotyczy to między innymi produkcji wody odzyskiwanych ze ścieków, która będzie wykorzystywana do różnych celów, a nie bezproduktywnie odprowadzana do odbiornika. Komisja uznała, że należy rozpocząć prace nad stworzeniem przepisów prawnych w tym zakresie.
- Oprócz odzysku wody ze ścieków istnieją również możliwości odzyskiwania innych surowców, w tym wodoru i bioplastików, a szczególnie surowców energetycznych i biogenów. Komisja uznaje za istotne wspieranie prac badawczo-rozwojowych mających na celu odzysk surowców ze ścieków poprzez wypracowanie mechanizmów finansowych i stosowne rozwiązania legislacyjne.
- Obecnie zaawansowaną technologią jest produkcja energii związana z przeróbką komunalnych osadów ściekowych, których wartość kaloryczna porównywalna jest z węglem brunatnym. Istotnym czynnikiem tej technologii jest intensyfikacja oraz wykorzystanie biogazu między innymi za pomocą hydrolizy termicznej, a także kofermentacja osadów ściekowych z odpadami ulegającymi biodegradacji.
- Komisja uznaje, za konieczne pilne opracowanie strategii unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce oraz wskazanie preferowanych kierunków w tym zakresie.

- **Komisja** uznaje, za szczególnie istotny odzysk fosforu i azotu ze ścieków i osadów ściekowych. Odzysk fosforu zaczyna nabierać szczególnego znaczenia z uwagi na zmniejszanie się światowych zasobów fosforu, zastosowanie reaktorów fluidalnych umożliwia produkcję nawozu.

Należy podkreślić, że stanowisko Komisji Środowiska Senatu RP doskonale wpisuje się w ideę gospodarki cyrkulacyjnej.

W „Krajowym planie gospodarki odpadami 2022”, zgodnie z nową uchwałą Rady Ministrów z dnia 1 sierpnia 2016 roku, w zakresie komunalnych osadów ściekowych przyjęto następujące cele [12]:

- Całkowite zaniechanie składowania komunalnych osadów ściekowych.
- Zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzaniem do środowiska oraz ilości krajowych osadów ściekowych poddanych termicznemu przekształcaniu.
- Dążenie do maksymalizacji stopnia wykorzystania substancji biogenych zawartych w osadach przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego, chemicznego oraz środowiskowego.

Tym samym straciła moc uchwała Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 roku w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014”.

## 19.2. Kierunki techniczno-technologiczne w zagospodarowaniu osadów

W Polsce, występuje konieczność modernizacji lub budowy nowej części osadowej w wielu komunalnych oczyszczalniach ścieków. W zakresie modernizacyjnym, podejmowane działania techniczno-technologiczne kierowane są osiągnięciem następujących celów:

- racjonalne zmniejszenie ilości powstających osadów,
- wprowadzenie procesów pozwalających na odzysk energii i biogenów z osadów,
- usprawnienie procesów przetwarzania osadów pod kątem energetycznym i ekonomicznym.

Powyższe cele wpisują się we współczesną tendencję zmian roli systemów wodno-ściekowych, jaką jest oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych, w nową rolę związaną z produkcją zasobów i energii. Zasadniczym kierunkiem działań, wynikających z zakazu składowania komunalnych osadów ściekowych po dniu 1 stycznia 2016 roku, winni być stosowanie:

- wydajniejszych procesów zagęszczania i odwadniania osadów,
- efektywnych i bezpiecznych urządzeń do suszenia osadów,
- efektywnych i bezpiecznych instalacji do termicznego przekształcania osadów.

Wskazane jest przeprowadzenie analiz optymalizowania ciągów technologicznych gospodarki osadowej, co pozwoli na wybór optymalnego rozwiązania dla danej oczyszczalni ścieków. Istotnym jest przy tym wybór rozwiązań posiadających referencje sprawdzone w praktyce. Należy przeanalizować celowość stosowania rozwiązań stosowanych w innych warunkach klimatycznych niż występujących w Polsce. W szeregu przypadkach konieczne jest przeprowadzenie badań pilotowych, które pozwolą na wprowadzenie innowacyjnych i wysokosprawnych rozwiązań.

Do innowacyjnych rozwiązań można przykładowo zaliczyć:

- zagęszczanie, odwadnianie i suszenie osadów ściekowych,
- odzysk substancji biogenych, szczególnie fosforu i azotu, z odcieków z przeróbki osadów,
- hydrolizę termiczną zastosowaną przed komorami fermentacyjnymi lub po komorach fermentacyjnych,
- kofermentację osadów ściekowych z odpadami,

**Zagęszczanie, odwadnianie i suszenie osadów.** Istnieje szereg wysokosprawnych sposobów zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych. Wysoka skuteczność zastosowanego zagęszczania oraz odwadniania osadów ściekowych ma duże znaczenie dla energochłonności dalszych procesów przeróbki osadów, szczególnie procesu ich suszenia. Następuje postęp w produkcji wysokosprawnych urządzeń do odwadniania osadów, między innymi w postaci nowych rozwiązań wirówek i pras. W przypadku suszenia osadów ściekowych, przy braku komór fermentacyjnych, szczególnie istotnym jest wysokoefektywne odwadnianie przed procesem suszenia, co znaczenie zmniejsza rozmiary suszarni. Na rynku, istnieje szereg rozwiązań różnego rodzaju suszarni osadów ściekowych, ale pojawiają się coraz to nowsze. Zastosowano również możliwość wykorzystania biogazu do suszenia osadów ściekowych. Jednakże, w przypadku termicznego suszenia osadów ściekowych niezwykle istotną jest sprawa bezpieczeństwa wybuchowego, która często uprzednio umykała uwadze. Bezpieczeństwo wybuchowe jest znacznie lepiej rozpoznane w wielu branżach przemysłowych niż w branży wodociągowo – kanalizacyjnej, w której dotychczas koncentrowano się głównie na zabezpieczeniu przed wybuchem w kanałach ściekowych. W przeszłości, za granicą dochodziło również do wybuchów mieszanin pyłowo-powietrznych w suszarniach osadów ściekowych.

Dyrektywy unijne regulujące zagadnienia związane z bezpieczeństwem wybuchowym to głównie dyrektywy ATEX oraz dyrektywy maszynowe, które zostały przetransponowane do prawodawstwa krajowego poprzez rozporządzenia ministra gospodarki. Użytkownik odpowiada jednak za wyznaczanie stref niebezpiecznych, a dostawca musi przestrzegać określonego planu tych stref. Ponieważ suszarnie



osadów to instalacje termicznej przeróbki, które są zagrożone pożarem i wybuchem, należy wymagać zgodności instalacji suszenia z wymogami unijnymi. Oczywiście rzeczą jest, że suszarnie osadów ściekowych powinny pochodzić od doświadczonego producenta.

**Odzysk substancji biogennych z osadów ściekowych.** Odzysk substancji biogennych z osadów ściekowych zaczyna nabierać szczególnego znaczenia wraz ze wzrostem zapotrzebowania na produkty rolne. Dlatego od szeregu lat, w wielu państwach na świecie, trwają intensywne prace nad opracowaniem praktycznych metod i technologii odzysku substancji biogennych ze ścieków i osadów ściekowych. W tym zakresie pojawiły się na świecie różne innowacyjne technologie odzysku substancji biogennych z odcieków z przeróbki osadów, zastosowane w skali pełnej technicznej [13]. W wyniku zastosowania tych technologii powstaje wysokiej jakości nawóz fosforowo-azotowo-magnezowy o powolnym uwalnianiu się i zwiększonej efektywności, co jest szczególnie istotne w obliczu zachodzących zmian klimatycznych. Technologie tego typu przyczyniają się pośrednio do eliminacji gazów cieplarnianych, a zagadnienie to może stać się bardzo istotne w skali światowej, dopóki nie zostaną odkryte nowe i dostępne zasoby fosforu.

Występują również korzyści z odzysku substancji biogennych na komunalnych oczyszczalniach ścieków wynikających głównie z obniżenia ich ładunków i produkcją nawozów. W kraju, przeprowadzono badania pilotowe nad odzyskiem substancji biogennych na kilku oczyszczalni ścieków. Należy wyrazić nadzieję, że proces wdrażania technologii posunie się dalej niż badania pilotowe i wkrótce będą następować wdrożenia w Polsce w pełnej skali technicznej.

**Fermentacja, hydroliza termiczna, kofermentacja – odzysk energii.** Podwyższenie wymogów środowiskowych, w tym standardów oczyszczania ścieków, powoduje w oczyszczalniach ścieków wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Koszty energii elektrycznej zużywanej w systemach ściekowych są znaczące. Mogą stanowić nawet 30% kosztów eksploatacji i utrzymania w ruchu systemów oczyszczania ścieków. Sprawa rozwiązania problemu osadów ściekowych łączy się z możliwościami zwiększenia efektywności energetycznej systemów wodno-ściekowej. Możliwe jest przy tym wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych szczególnie związanych z osadami ściekowymi. Powyższe działania przyniosą korzyści o charakterze środowiskowym i ekonomicznym. Istotnym jest przy tym możliwość spadku zanieczyszczenia powietrza związanego ze zmniejszeniem zużycia paliw konwencjonalnych oraz redukcja gazów cieplarnianych.

Na Polsce istnieją tysiące oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych, z których większość zasilana jest energią z paliw kopalnianych, w tym z węgla. Istotnym jest sporządzenie bilansu energetycznego dla oczyszczalni

ścieków i oszacowanie potencjalnych korzyści poprzez wprowadzone działania optymalizacyjne i innowacyjne, tym bardziej, że zużycie energii przez tę branżę będzie rosło. Stosunkowo niewiele jeszcze systemów wodno-ściekowych w kraju korzysta z alternatywnych źródeł energii, chociaż ostatnio na świecie sytuacja powyższa drastycznie uległa zmianie. Najistotniejszy postęp następuje w wykorzystaniu potencjału energetycznego komunalnych osadów ściekowych, których wartość kaloryczna porównywalna jest z węglem brunatnym. Wskaźnik kaloryczności osadów komunalnych wynosi średnio 16 MJ/kg suchej masy (s.m.). Przeprowadzenie analiz optymalizowania ciągów technologicznych gospodarki osadowej, pozwoli na wybór optymalnego rozwiązania produkcji energii dla danej oczyszczalni ścieków. Przykładowy schemat gospodarki osadowej przedstawiony jest na rys.1. wskazującym na urządzenia znane i szereg innowacyjnych rozwiązań stosowanych i możliwych do zastosowania w praktyce.

Istotnym procesem, stosowanym od bardzo dawna, jest proces **fermentacji bez-tlenowej** przeprowadzanych w specjalnych komorach. Komory fermentacyjne są urządzeniami do przeprowadzenia biochemicznego rozkładu substancji organicznych, które dzielą się na zamknięte i otwarte. Wydzielone komory fermentacyjne zamknięte (WKFz) to komory przykryte, zawsze ogrzewane z mieszaniem osadów, które mogą być komorami fermentacji mezofilowej (o temp. 27-35<sup>o</sup> C) lub termofitowej (o temp. 50-55<sup>o</sup> C). Wydzielone komory fermentacyjne otwarte (WKFo) to komory nie mające przykrycia o fermentacji mezofilowej, nie ogrzewane (o temperaturze 10-15<sup>o</sup> C) i na ogół nie mieszane lub z mieszaniem stosunkowo mało intensywnym. WKF otwarte ze względu na niską temperaturę i brak mieszania są większe w przeliczeniu na jednostkę masy osadu. W przypadku istnienia wydzielonych komór fermentacyjnych, celowym może okazać się zastosowanie procesu **hydrolizy termicznej** przed komorami fermentacyjnymi i wykorzystanie zwiększonych ilości powstałego biogazu. Istnieje również możliwość zlokalizowania procesu hydrolizy termicznej po komorach fermentacyjnych.

Również, **kofermentacja** osadów ściekowych z odpadami ulegającymi biodegradacji stanowi rozwiązanie pozwalające na dalszą intensyfikację produkcji biogazu i może umożliwić rozwiązanie problemu zagospodarowania tzw. mokrej frakcji odpadów komunalnych. Istotnym jest przy tym przebadane dodawanych materiałów między innymi pod względem podatności na fermentację oraz intensywność produkcji biogazu.

Systemy hydrolizy termicznej między innymi umożliwiają:

- zwiększenie podatności osadów na fermentację poprzez destrukcję struktur komórkowych (dezintegracja),
- wstępne przetwarzanie osadów poprawiające późniejsze ich odwadnianie oraz zapewniające higienizację,

- zwiększenie obciążenia komór fermentacyjnych poprzez zwiększenie stopnia zagęszczania osadów podawanych do komór z jednoczesną poprawą mieszania w komorach fermentacyjnych,
- zwiększenie efektywności procesu fermentacji, co wpływa na zwiększenie ilości wytwarzanego biogazu i stopnia rozłożenia substancji stałych.

W przypadku istnienia wydzielonych komór fermentacyjnych, celowym może okazać się zastosowanie procesu **hydrolizy termicznej** przed komorami fermentacyjnymi i wykorzystanie zwiększonych ilości powstałego biogazu. Istnieje również możliwość zlokalizowania procesu hydrolizy termicznej po komorach fermentacyjnych.

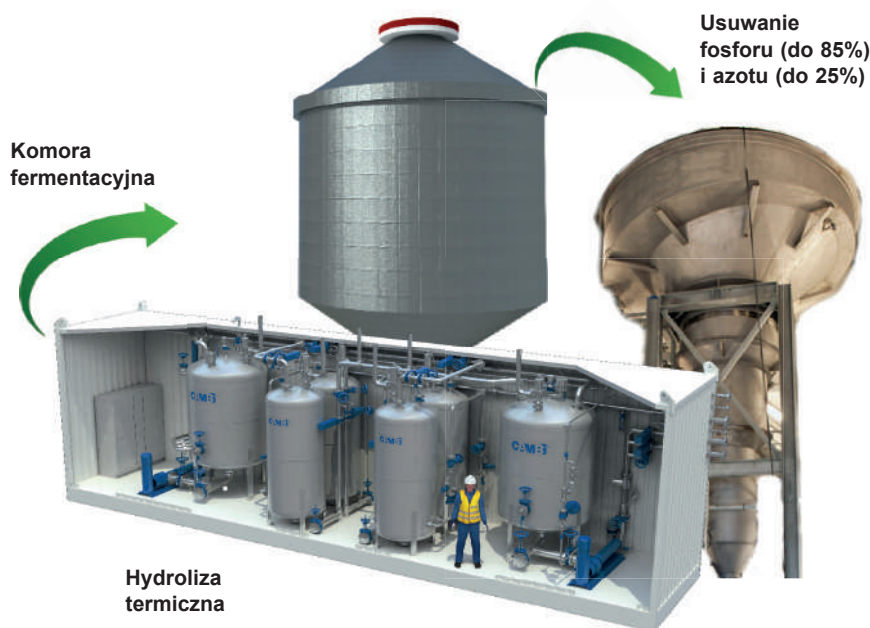
Większy stopień rozkładu osadów poprzez fermentację beztlenową jest równoznaczny ze zmniejszeniem ich ilości w dalszych etapach przeróbki (odwadnianie i suszenie).

Istnieje wiele innych rozwiązań innowacyjnych i optymalizacyjnych. Istotna jest przy tym integracja istniejących rozwiązań z nowymi technologiami. Możliwe jest przykładowo łączne zastosowanie technologii hydrolizy termicznej i technologii odzysku fosforu z odcieków pochodzących z przeróbki osadów ściekowych (rys.19.1), które mogą przynieść wiele korzyści. Wymaga to jednak wszechstronnego zbadania pojawiających się technologii zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i w instalacjach pilotowych.

Powyższe przykłady, jak i wiele innych rozwiązań innowacyjnych, takich jak przykładowo reaktory oparte o ciecz nadkrytyczną, tworzoną z wody przy wyższym ciśnieniu i temperaturze, które mogą być zastosowane również do przeróbki osadów ściekowych i odpadów. Pierwsza taka komercyjna instalacja została zbudowana w 2001 roku w stanie Teksas, USA. Świadczy to o dużych dalszych możliwościach innowacyjnych oraz optymalizacyjnych w gospodarce osadowej.

Opracowywanie innowacyjnych technologii wodnych, ściekowych i osadowych wymaga odpowiedniego wsparcia. Należy podkreślić, że w 2016 roku Komisja Środowiska Senatu RP, jak wspomniano powyżej, uznała istotne wsparcie prac badawczo-rozwojowych mających na celu odzysk surowców poprzez wypracowanie mechanizmów finansowych i stosowne rozwiązania legislacyjne.

Istotnym jest również propagowanie innowacyjnych rozwiązań w branży wodkan, czemu służą między innymi konferencje osadowe organizowane przez różne ośrodki, szczególnie firmę Abrys.



Rys. 19.1. Połączenie hydrolizy termicznej z odzyskiem fosforu

## 19. Podsumowanie

Konieczne są zrównoważone rozwiązania dla gospodarki wodno-ściekowej, w zakresie zaopatrzenia w zdrową wodę, efektywnego oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów ściekowych. Dlatego sprawy zaopatrzenia w wodę, oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych, a następnie ich zagospodarowania i wykorzystania należy rozpatrywać łącznie. W Polsce, istnieją tysiące oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych, z których większość zasilana jest energią z paliw kopalnianych, w tym z węgla, ale aktualnie sytuacja ta zaczęła się zmieniać w rozwiniętych gospodarczo państwach, w tym również powoli i w Polsce.

Systemy ściekowe, zaczynają być postrzegane nie tylko w ich tradycyjnej roli jaką jest oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych, ale również w nowej roli związanej z produkcją zasobów i energii. Oczyszczalnie ścieków mogą stać się producentami wielu cennych zasobów, z których najcenniejszym są zasoby wodne. Inne możliwe zasoby do uzyskania to między innymi: wodór i związki biogenne, szczególnie fosfor, a nawet plastiki.

Uznanie przez Federację Środowiska Wodnego w USA ścieków i osadów ściekowych za nowe źródła energii odnawialnej stworzyło nowe perspektywy ekonomiczne i stało się niezwykłym bodźcem dla opracowania i wdrożenia wielu rozwiązań innowacyjnych. Osady ściekowe mogą być źródłem energii elektrycznej i ciepłej. Sprawa rozwiązania problemu osadów łączy się z możliwościami zwiększenia efektywności energetycznej systemów wodno-ściekowych. Systemy wodno-ściekowe mogą nie tylko być konsumentem dużych ilości energii, ale również produkować energię na potrzeby własne, a nawet do różnych celów dla użytkowników zewnętrznych, czego przykładem jest oczyszczalnia ścieków w Tychach.

Istotne jest sporządzenie w Polsce bilansu energetycznego dla oczyszczalni ścieków i oszacowanie potencjalnych korzyści poprzez wprowadzone działań optymalizacyjnych i innowacyjnych, tym bardziej, że zużycie energii przez branżę wodno-kanalizacyjną będzie rosło. Stosunkowo niewiele jeszcze systemów ściekowych w kraju korzysta z alternatywnych źródeł energii, chociaż ostatnio sytuacja ta uległa zmianie.

Zmiana paradygmatu dla przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w kierunku odzysku surowców i energii ze ścieków i osadów może odegrać istotną rolę w zrównoważonym rozwoju miast i w ograniczaniu zmian klimatycznych. Działania te przyniosą korzyści o charakterze ekonomicznym i środowiskowym. Możliwy jest spadek zanieczyszczenia powietrza związanego ze zmniejszeniem zużycia paliw konwencjonalnych oraz redukcja gazów cieplarnianych. Celowym winno być rozszerzenie powyższego paradygmatu z indywidualnych oczyszczalni na systemy oczyszczania w zlewniach, dorzeczach i zlewiskach. Istotnym jest przy tym dokonanie również pełnego oszacowania kosztów realizacji zagospodarowania osadów ściekowych i wynikających z tego korzyści.

Zaostrzenie standardów oczyszczania ścieków oraz intensywny rozwój metod usuwania substancji biogenych i ich praktyczne zastosowanie, powoduje wzrost ilości komunalnych osadów ściekowych. Jednak zasadniczą sprawą stała się konieczność opracowania i przyjęcia krajowej strategii postępowania z osadami ściekowymi, jak też opracowanie Krajowego Programu Zagospodarowania Komunalnych Osadów Ściekowych. Alternatywą jest aby powyższy program osadowy stanowił część Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. W Polsce, brak kompleksowego rozwiązania problemu osadów ściekowych może grozić wieloma konsekwencjami, w tym nawet wybuchami lokalnych epidemii.

Podczas IX konferencji pt. „Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych”, która odbyła się w dniach 6-9 października 2015 roku w Kazimierzu Dolnym, stwierdziłem między innymi, że „powyższe fakty są powszechnie znane od wielu lat i nie wzbudziły zainteresowania decydentów”. Dzieje się tak, mimo szeregu inicjatyw Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie” oraz wielu wystąpień

na konferencjach osadowych i w fachowych publikacjach dotyczących osadów ściekowych, w tym również autora [15-23].

Konieczność opracowania strategii postępowania z osadami ściekowymi i programu ich zagospodarowania jest bezwzględnie konieczna ze względów sanitarnych i innych, ale również z punktu widzenia pozyskiwania energii z osadów ściekowych. Możliwe jest bowiem wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych związanych z osadami ściekowymi, które winny być wsparte w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko na lata 2014-2020. Dlatego, na szczególne uznanie zasługuje stanowisko Komisji Środowiska Senatu RP z 2016 roku, w którym wskazała między innymi na potrzebę pilnego opracowania krajowej strategii unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych oraz wskazanie preferowanych kierunków w tym zakresie. Pozostaje wyrazić nadzieje, że stanowisko to przyczyni się do rozwiązania problemów związanych z zagospodarowaniem komunalnych osadów ściekowych

## Bibliografia

1. Bień J. B., Wystalska K.: Przekształcanie osadów ściekowych w procesach termicznych. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2009.
2. Bień J. B., Wystalska K.: Osady ściekowe: Teoria i praktyka. Wydanie III, Wyd. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2011.
3. Bień J., Pająk T., Wystalska K.: Unieszkodliwianie komunalnych osadów ściekowych. Wyd. politechnika Częstochowska, Częstochowa 2014.
4. Spinosa L., Vesilind P.A. (Eds): Sludge into biosolids: Processing, disposal, utilization. IWA Publishing, London 2001.
5. Foladori P., Andreottola G., Ziglio G.: Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants. IWA Publishing, London-New York 2010.
6. Sanin F.D., Clarkson W. W., Vesilind P.A.: Sludge engineering: The treatment and disposal of wastewater sludges. DEStech Publications, Inc., Lancaster 2011.
7. Gromiec M.: Nowa rola systemów wodno-ściekowych: produkcja zasobów i energii. Kierunek Wod-Kan 4,76-81, 2015.
8. Gromiec M.: Nowa rola gospodarki wodno – ściekowej w rozwoju miast i ograniczaniu zmian klimatycznych. II Forum Ochrony Środowiska pt. Ekologia stymulatorem rozwoju miast. Wyd. Wodociągi Polskie, Bydgoszcz 2015.
9. Gromiec M.: Nowy paradygmat „Nutriety-Energia-Woda (NEW)” dla przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych. W: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód (red. Z. Dymaczewski, J.A. Jeż-Walkowiak, A. Urbaniak). Wyd. PZITS, Poznań 2016, 69-80.
10. Wójtowicz A., Jędrzejewski C., Bieniowski M., Darul H.: Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej. Wyd. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, Bydgoszcz 2013.
11. Bień J., Górski M., Gromiec M., Kacprzak M., Kamizela T., Kowalczyk M., Neczaj E., Pająk T., Wystalska K.: Ekspertyza, która będzie stanowić materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2014-2020. Politechnika Częstochowska, Częstochowa, grudzień 2014.



12. Uchwała Nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 roku w sprawie Krajowego planu gospodarko odpadami 2022. Monitor Polski D.U. RP, Poz. 784, Warszawa, 11 sierpnia 2016.
13. Gromiec T., Gromiec M.: Reaktory ze złożami fluidalnymi: innowacyjna metoda odzysku fosforu. *Kierunek Wod-Kan* 2, 50-53, 2016.
14. Gromiec M.: Uruchomienie pierwszej w Polsce oczyszczalni ścieków z technologią Nereda w Rykach. *GWITS* 9, 328-330, 2015.
15. Gromiec M.: Kierunki planowanych zmian dyrektywy osadowej w Unii Europejskiej. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2, 149-160, 2001.
16. Bień J., Gromiec M., Wystalska K.: Kierunki rozwiązań gospodarki osadowej ze szczególnym uwzględnieniem termicznego przekształcania osadów ściekowych. *GWITS* 3, 26-29, 2006.
17. Gromiec M.: Planowana polityka osadowa w UE.: W: Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Termiczna mineralizacja osadu ściekowego. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2008, 133-146.
18. Gromiec M., Gromiec T.: Podstawy strategii zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych w Polsce. W: *Kierunki przeróbki i zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych* (red. Z. Heinrich). Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2010, 7-14.
19. Gromiec M.: Problematyka zagospodarowania osadów ściekowych. W: *Materiały VI Forum pt. Dobre praktyki w gospodarce odpadami-gospodarka osadami ściekowymi*. Wyd. NFOŚiGW Warszawa 2011, 1-13.
20. Gromiec M.: Priorytetowy program finansowania budowy instalacji do suszenia i spalania komunalnych osadów ściekowych-nowe możliwości w NFOŚiGW. W: *Konferencja pt. Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych*. Wyd. ABRYS, Poznań 2011, 21-24.
21. Gromiec M.: Aspekty regionalizacji rozwiązań zagospodarowania osadów ściekowych i zwiększenie bezpieczeństwa ich termicznego przekształcania. W: *Materiały VII Konferencji pt. Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych*. Wyd. ABRYS, Poznań 2013, 5-10.
22. Gromiec M.: Wyznaczanie dla gospodarki osadami ściekowymi w aspekcie wymagań dyrektywy 91/271/EWG. W: *Materiały VIII Konferencji pt. Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych*. Wyd. ABRYS, Poznań 2014, 5-10.
23. Gromiec M.: Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych z uwzględnieniem aktualnych rozwiązań światowych. W: *Materiały IX Konferencji pt. Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych*. Wyd. ABRYS, Poznań 2015, 5-9.



## 20. Nowy paradygmat ściekowy i gospodarka cyrkulacyjna w gospodarce wodno-ściekowej

W rozdziale podano ogólne założenia zastosowania gospodarki cyrkulacyjnej oraz nowego paradygmatu ściekowego w gospodarce wodno-ściekowej. Przedstawiono stanowiska Komisji Środowiska Senatu RP związane z gospodarką cyrkulacyjną. Podano przykłady możliwych zastosowań dla produkcji wody, substancji biogenych i energii ze ścieków/osadów, realizowanych w ramach gospodarki cyrkulacyjnej. Rozdział został oparty o zmodyfikowaną pracę autora [1].

### 20.1. Gospodarka liniowa a gospodarka cyrkulacyjna

Gospodarka liniowa, zwana też linearną, w przeciwieństwie do gospodarki cyrkulacyjnej, oparta jest o model „weź, wyprodukuj, zużyj i wyrzuć” i jest realizowana przyjmując założenia: zasoby występują w dużych ilościach, są dostępne i łatwe do pozyskania, a odpady możliwe do usunięcia niewielkim kosztem. Za główne powody wprowadzenia gospodarki cyrkulacyjnej podaje się: ograniczoną dostępność niektórych surowców, uzależnienie gospodarki europejskiej od ich importu, co związane jest wysokimi cenami, zmiennością rynku, jak też z niepewną sytuacją polityczną w niektórych państwach, z których surowce są importowane. Powoduje to malejącą konkurencyjność gospodarki europejskiej w stosunku do gospodarek światowych.

Dlatego, koncepcja gospodarki cyrkulacyjnej znalazła wyraz w szeregu dokumentach Unii Europejskiej, a w szczególności została przedstawiona w Komunikacie Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów pt. „**Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program zero odpadów dla Europy**” (Bruksela, 2.7.2014 r., COM 2014, 398 final) oraz w Komunikacie Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów pt. „**Zamknięcie obiegu – plan działania dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym**” (Bruksela, 2.12.2015 r., COM 2015, 614 final). Nowe dokumenty unijne związane z gospodarką cyrkulacyjną zaczynają pojawiać się w szybkim tempie. W roku 2018, ogłoszono Europejską strategię na rzecz tworzyw sztucznych w gospodarce o obiegu zamkniętym (Strasburg, 16.01.2018 r.) oraz powstał wniosek projektu Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody (28.05.2018 r., COM 2018, 337 final).

## **20.2. Założenia koncepcji gospodarki cyrkulacyjnej i nowego paradygmatu**

Gospodarka cyrkulacyjna może mieć zastosowanie nie tylko w gospodarce odpadowej, ale również gospodarce wodno-ściekowej, w tym szczególne w odnośniku wody ze ścieków, co jest również zgodne z nowym paradygmatem „NEW” (Nutriety-Energia-Woda), dla przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych, który dotyczy odzysku zasobów i energii. Idea nowego paradygmatu dla oczyszczalni ścieków, oparta na przekształceniu oczyszczalni w zakłady produkcji odzyskiwanych zasobów ze ścieków, została zaproponowana w USA przez Narodowe Stowarzyszenie Agencji Czystej Wody, Federację Środowiska Wodnego i Fundację Badania Środowiska Wodnego w 2012 roku [2] i przedstawiona szczegółowo przez Grupę Roboczą Federacji Środowiska Wodnego w 2014 roku [3].

Istnieje celowość rozszerzenia tej idei z perspektywy indywidualnych oczyszczalni ścieków na systemy oczyszczalni w zlewniach i dorzeczach rzek, a w przypadku Polski – nawet w zlewisku Morza Bałtyckiego [4]. Powoduje to konieczność uwzględniania spójności i integracji zaopatrzenia w wodę, oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych już na poziomie koncepcji ogólnych.

Przesłanki dla zastosowania nowego paradygmatu oraz gospodarki cyrkulacyjnej to głównie: zrównoważony rozwój, zmiany demograficzne w miastach i zmiany klimatyczne. Oprócz tradycyjnej roli systemów wodno-ściekowych, jaką jest oczyszczanie ścieków, ich nową rolą jest produkcja różnego rodzaju zasobów. W zakresie produkcji zasobów jest to głównie produkcja wody, wodoru, substancji biogenych, bioplastików, itp., a w zakresie produkcji energii jest to odzysk energii ze ścieków i osadów ściekowych [5].

Wprowadzenie nowego paradygmatu może odegrać istotną rolę w zrównoważonym rozwoju miast i w ograniczaniu zmian klimatycznych, przynosząc korzyści o charakterze ekonomicznym i środowiskowym. Przykładowo, możliwy jest spadek zanieczyszczenia powietrza związanego ze zmniejszeniem zużycia paliw konwencjonalnych oraz redukcja gazów cieplarnianych.

Odzysk wody, energii i substancji biogenych ze ścieków i osadów, wpisuje się to we współczesne tendencje zmiany roli systemów wodno-ściekowych, którą jest obecnie oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych, w nową rolę – związaną dodatkowo z produkcją zasobów i energii. Wykorzystanie ścieków i osadów ściekowych jako źródła energii odnawialnej stwarza nowe perspektywy ekonomiczne i jest bodźcem dla opracowania i wdrożenia rozwiązań innowacyjnych, co umożliwia to zwiększenie efektywności energetycznej systemów wodno-ściekowych, które mogą nie tylko być konsumentem dużych ilości energii, ale również produkować energię na potrzeby własne, a nawet do różnych celów.

Wskazane jest przeprowadzenie analiz optymalizowania ciągów technologicznych, pozwalających na wybór optymalnego rozwiązania dla danej oczyszczalni ścieków. Istotnym jest przy tym wybór rozwiązań posiadających sprawdzone w praktyce referencje. W szeregu przypadkach konieczne jest przeprowadzenie badań, które umożliwią wprowadzenie rozwiązań innowacyjnych i oczyszczalni neutralnych energetycznie. Powyższe działania przyniosą korzyści o charakterze środowiskowym i ekonomicznym. Istotnym jest przy tym możliwość spadku zanieczyszczenia powietrza związanego ze zmniejszeniem zużycia paliw konwencjonalnych oraz redukcja gazów cieplarnianych.

W Polsce istnieją wiele oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych, z których większość zasilana jest energią z paliw kopalnianych, w tym z węgla. Istotnym jest bilans energetyczny dla oczyszczalni ścieków i oszacowanie potencjalnych korzyści poprzez wprowadzenie działań optymalizacyjnych i innowacyjnych, tym bardziej, że zużycie energii przez branżę wodociągowo-kanalizacyjną będzie rosło. Stosunkowo niewiele jeszcze systemów wodno-ściekowych w kraju korzysta z alternatywnych źródeł energii, w porównaniu z innymi krajami na świecie, gdzie sytuacja powyższa uległa dalekiej zmianie pod tym względem. Ostatnio, daje się jednak również zauważyć wzrost zastosowania rozwiązań z odnawialnymi źródłami energii w krajowych systemach wodno-ściekowych.

### **20.3. Senacka Komisja Środowiska w sprawie gospodarki cyrkulacyjnej**

Doceniając wagę problemów dotyczących gospodarki cyrkulacyjnej, Komisja Środowiska Senatu RP wydała, w latach 2016-2017 trzy stanowiska na powyższy temat.

W pierwszym stanowisku, z dnia 17 marca 2016 roku, na temat innowacyjnego wykorzystania ścieków jako źródła energii i surowców, którego główne tezy i postanowienia są następujące:

- Oprócz tradycyjnych ról przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych nową rolą może być produkcja energii surowców. Dotyczy to między innymi produkcji wody odzyskiwanej ze ścieków, która będzie wykorzystywana do różnych celów. Komisja uznała, że należy rozpocząć prace nad stworzeniem przepisów prawnych w tym zakresie.
- Oprócz odzysku wody ze ścieków istnieją również możliwości odzyskiwania innych surowców, w tym wodoru i bioplastików, a szczególnie surowców energetycznych substancji biogenych. Komisja uznała za istotne wspieranie prac badawczo-rozwojowych mających na celu odzysk surowców ze ścieków poprzez wypracowanie mechanizmów finansowych i stosowne rozwiązania legislacyjne.

- Istotnym czynnikiem nowej technologii jest intensyfikacja oraz wykorzystanie biogazu między innymi za pomocą hydrolizy termicznej, a także ko-fermentacja osadów ściekowych z odpadami ulegającymi biodegradacji.
- Komisja uznała, za konieczne i pilne opracowanie strategii unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce oraz wskazanie preferowanych kierunków w tym zakresie.
- Komisja uznała, za szczególnie istotne odzyskiwanie ze ścieków i osadów ściekowych fosforu i azotu. Odzysk fosforu zaczyna nabierać szczególnego znaczenia z uwagi na zmniejszanie się światowych zasobów fosforu, zastosowanie reaktorów fluidalnych umożliwia produkcję nawozu.

W drugim stanowisku, wydanym w dniu 16 marca 2017 roku, dotyczącym uwzględnienia osadów ściekowych w gospodarce cyrkulacyjnej, główne postanowienia to:

- Gospodarka cyrkulacyjna stwarza nowe szanse dla gospodarki wodno-ściekowej-osadowej i daje możliwość innowacyjnych rozwiązań.
- Komisja uważa, że dla optymalnego rozwiązania problemu komunalnych osadów ściekowych niezbędne jest opracowanie Krajowego Programu Zagospodarowania Osadów Ściekowych oraz opracowanie strategicznego programu badań nad wykorzystaniem osadów.
- Wsparcie innowacyjnych rozwiązań dotyczących osadów ściekowych (głównie komunalnych) jest możliwe i celowe w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko.

W trzecim stanowisku, z dnia 6 grudnia 2017 roku, w sprawie ochrony Morza Bałtyckiego przed zanieczyszczeniami pochodzącymi z osadów ściekowych, w kontekście rekomendacji Komisji Helsińskiej, wniosła między innymi o opracowanie uregulowań prawnych dla zagadnień odzysku fosforu z osadów ściekowych.

Wydane w dniu 1 marca 2017 roku rekomendacje Komisji Helsińskiej, dotyczą przeróbki osadów ściekowych w obszarze Morza Bałtyckiego, obejmując dziewięć państw – sygnatariuszy Konwencji Helsińskiej. Przyjmując zalecenie recykulacji fosforu z osadów ściekowych, Komisja Helsińska podkreśliła, że Komisja Europejska przyjęła gospodarkę cyrkulacyjną w celu zwiększenia stopnia recykulacji odpadów.

Przedstawione powyżej stanowiska Komisji Środowiska Senatu RP zasługują na uznanie społeczeństwa i uwagę władz, dla których gospodarka cyrkulacyjna stwarza nowe szanse optymalnego rozwiązania problemu zintegrowanej gospodarki wodno-ściekowej i gospodarki osadowej, przy zastosowaniu technologii innowacyjnych rozwiązujących problemy środowiskowe w sposób przynoszący korzyści ekonomiczne.

## 20.4. Możliwości odzysku surowców w gospodarki cyrkulacyjnej

**Odnowa wody ze ścieków.** Problem wody dla miast, rolnictwa i przemysłu, staje się globalnie niezwykle ważny z uwagi na szybkość zachodzących zmian demograficznych i zmiany klimatyczne. Dlatego konieczne są równoważone rozwiązania dla gospodarki wodno-ściekowej, szczególnie w zakresie zaopatrzenia w wodę, która powinna być dostępna dla ludności pod względem cenowym, jak też w zakresie efektywnego oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów ściekowych.

W zakresie produkcji zasobów, istotnym zadaniem w niedalekiej przyszłości stanie się produkcja wody, w postaci odnowy wody ze ścieków. Istnieją w tym zakresie bogate światowe i pewne krajowe doświadczenia praktyczne. Woda uzyskana ze ścieków może być wykorzystywana do różnych celów, a nie tylko bezproduktywnie odprowadzana do odbiornika, często zanieczyszczonego bardziej niż dobrze oczyszczony odpływ z oczyszczalni ścieków [5]. Ponieważ naturalne zasoby wodne będą stawały się coraz bardziej ograniczone, to woda uzyskiwana ze ścieków może być traktowana jako alternatywne źródło zaopatrzenia, nabierające z upływem czasu coraz większego znaczenia.

Odnowa wody ze ścieków oparta jest na szeregu procesach oczyszczania, które przywracają ściekom cechy użytkowe wody. Natomiast wtórne ich wykorzystanie to przynoszące korzyści wykorzystanie odnowionej wody do różnych celów. Odnowa wody, wtórne wykorzystanie ścieków oraz zamykanie obiegów wodnych mogą stać się znaczącymi elementami hydrologicznego cyklu obiegu wody w obliczu postępujących zmian klimatycznych, a szczególnie w przypadku grożących deficytów, związanych z przedłużającymi się okresami suszy.

Dlatego efektywna integracja wtórnego wykorzystania dobrze oczyszczonych ścieków z gospodarowaniem zasobami wodnymi w zlewniach winna być oparta na ilościowych bilansach potrzeb wodnych różnego rodzaju użytkowników (komunalnych, przemysłowych i rolniczych) przy uwzględnieniu ograniczeń wynikających z wymagań odnośnie jakości wody i przepisów prawnych, które należy stworzyć w tym względzie. Nastąpi bowiem wzrost zapotrzebowania na wodę w rolnictwie, powodujący konieczność odzysku wody ze ścieków [6-7].

**Produkcja wodoru.** Ponieważ odzysk wodoru w procesie elektrolizy jest nadal dość kosztowny, to ciągle trwają prace badawcze nad produkcją wodoru ze ścieków, w tym prace nad produkcją z mocznika. Spalanie wodoru nie powoduje zanieczyszczenia środowiska, brak jest jednak wydajnego i taniego źródła, a problemem przy jego produkcji jest uzyskanie wysokiego stopnia odzysku energetycznego, wynoszącego około 70-80%.

W ściekach znajdują się kolonie bakterii elektrogenicznych, które mogą być wykorzystane do produkcji wodoru. Wytwarzanie może zachodzić zarówno z wykorzystaniem mikroorganizmów, które wykorzystują energię świetlną jak i energię chemiczną. Jednakże, najbardziej efektywna metoda odzysku wodoru jest związana z udziałem bakterii beztlenowych. Pewną nadzieję łączy się również z mikrobiologicznymi ogniwami paliwowymi zasilanych ściekami, które produkują energię.

Wodór produkowany na oczyszczalniach ścieków może być wykorzystywany zarówno do celów wewnętrznych, jak i zewnętrznych, w tym, w przyszłości, być może jako paliwo do samochodów. Związane jest to nie tylko z potencjałem oczyszczalni w tym zakresie, ale też z dużym zagęszczeniem ilości oczyszczalni w pewnych regionach, co może zwiększyć w przyszłości stopień dostępności i wykorzystania wyprodukowanego wodoru.

**Produkcja bioplastików.** Prowadzi się badania nad produkcją plastików przez bakterie. Tworzywa sztuczne, zwane powszechnie plastikami, to materiały składające się z polimerów sztucznych lub zmodyfikowanych polimerów naturalnych. Jednak produkcja sztucznych plastików oparta jest głównie o ropę naftową.

Plastyki naturalne mogą być też produkowane w sposób biologiczny, bowiem niektóre bakterie mogą, podczas zastosowania metod biologicznych do oczyszczania ścieków, produkować i magazynować plastiki jako polimery biodegradowalne należące do poliestrów alifatycznych (polihydroksyalkonolany – PHA). Produkcja takich bioplastików jest tańsza i efektywniejsza pod względem energetycznym, bowiem redukuje zależność od ropy naftowej.

PHA może być wytwarzane ze ścieków, zawierających bakterie, i w tym celu prowadzone są badania w wielu ośrodkach naukowych. W produkcji przemysłowej, hoduje się specjalne kultury bakterii, w których magazynowane są poliestry (nawet do 80% masy własnej). Wytworzone biodegradowalne biopolimery mogą być stosowane w różnych dziedzinach, w tym w przemyśle farmaceutycznym. Zaczynają znajdować również zastosowanie w produkcji bioplantów i sztucznych tkanek.

**Produkcja biogenów.** Następuje istotny postęp w odzysku substancji biogennych, szczególnie w postaci azotu lub fosforu. Odzysk azotu i fosforu ze ścieków i osadów ściekowych wyszedł już w zasadzie z badań laboratoryjnych wraz z pojawieniem się technologii komercyjnych, zastosowanych w pełnej skali technicznej.

Odzysk fosforu z osadów ściekowych zaczyna nabierać szczególnego znaczenia wraz ze zmniejszaniem się światowych zasobów fosforu (składnik nawozów) i wzrostem zapotrzebowania na produkty rolne. W tym zakresie pojawiły się już



szereg innowacyjnych technologii, taka jak przykładowo kanadyjska technologia krystalizacji struwitu. W wyniku zastosowania powyższej technologii powstaje wysokiej jakości nawóz fosforowo-azotowo-magnezowy o powolnym uwalnianiu się i zwiększonej efektywności, co jest szczególnie istotne w obliczu zachodzących zmian klimatycznych.

Technologie tego typu przyczyniają się pośrednio do eliminacji gazów cieplarnianych, a zagrożenie to może również stać się bardzo istotne z uwagi na wyczerpywanie się zasobów fosforu, o ile na świecie nie zostaną odkryte nowe i dostępne ich zasoby.

## 20.5. Odzysk energii w systemach ściekowych i osadowych

Zwiększenie sprawności energetycznej systemów ściekowo-osadowych następuje zarówno poprzez oszczędności energii w systemach ściekowych, jak też poprzez produkcję energii w systemach osadowych.

**Oszczędność energii w systemach ściekowych.** Podwyższanie wymogów środowiskowych, w tym standardów oczyszczania ścieków, powoduje wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w oczyszczalniach ścieków. Koszty energii elektrycznej zużywanej w systemach ściekowych są znaczące. Mogą stanowić nawet 20-30% kosztów eksploatacji i utrzymania w ruchu systemów oczyszczania ścieków. Przy opracowaniu programu oszczędności energii dla oczyszczalni ścieków, może być szczególnie przydatna ocena sprawności energetycznej. Program oszczędności energii oczyszczalni winien obejmować: stworzenie systemu analizującego bieżące zużycie energii elektrycznej, wykonanie ocen energetycznych głównych operacji, opracowanie strategii dla efektywnych ekonomicznie zakupów energii elektrycznej. Szczególnie istotne jest analizowanie zużycia energii i związanych z tym kosztów oraz ustalenie miejsc poboru energii przez poszczególne procesy i operacje, w tym miejsc najbardziej energochłonnych. Oszczędności energii w systemach oczyszczania ścieków pod względem energetycznym związane są z usprawnieniem działania urządzeń lub wymiana urządzeń energochłonnych na energooszczędne oraz z wprowadzeniem systemów sterowania/automatyzacji, monitoringu oraz kontroli.

Zużycie energii w systemach oczyszczania ścieków dotyczy głównie: transportu ścieków do oczyszczalni, oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych oraz odprowadzanie ścieków do odbiornika. W systemach ściekowych, energia zużywana jest na napowietrzanie ścieków w komorach osadu czynnego, jak też do uwalniania rozpuszczalników i usuwania gazów. W konwencjonalnych oczyszczalniach, zapotrzebowanie na energię elektryczną może dochodzić



do 60%, przy czym dodanie procesu nityfikacji może zwiększyć zapotrzebowanie na energię elektryczną do 70%. Dlatego niezwykle istotna jest modernizacja ciągów technologicznych oraz dobór efektywnych urządzeń napowietrzających, które zużywają energię elektryczną na transfer tlenu z powietrza, jak też do mieszania zawartości komór osadu czynnego. Łączy się z tym właściwy dobór takich urządzeń jak dmuchawy.

Powstają też innowacyjne rozwiązania dla biologicznego oczyszczania ścieków, charakteryzujące się mniejszym zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Przykładem takiego rozwiązania jest holenderska technologia z granulowanym osadem czynnym oparta o reaktory z działaniem sekwencyjnym (SBR). Rozwiązanie powyższe stanowi przykład rozwiązania zrównoważonego, które charakteryzuje się nie tylko mniejszym zużyciem energii, ale również niskimi nakładami inwestycyjnymi i kosztami eksploatacyjnymi, zapewniając równoczesne usuwanie związków węgla, azotu i fosforu, jak też zajmując mniejszą powierzchnię. Innym przykładem jest polska technologia oczyszczania ścieków z odgazowaniem osadu, która nie tylko intensyfikuje proces oczyszczania, ale również zapewnia niskie zużycie energii. Należy dodać, że postęp następuje również w odzysku energii ze ścieków w systemach kanalizacyjnych. W tym zakresie istnieje już szereg innowacyjnych rozwiązań odzysku ciepła odpadowego ze ścieków w systemach kanalizacyjnych, które znalazły już praktyczne zastosowanie za granicą.

Zwiększenie sprawności energetycznej systemów wodno-ściekowych związane jest z korzyściami nie tylko ekonomicznymi, ale również o charakterze środowiskowym. Wzrost sprawności energetycznej tych systemów może powodować spadek zanieczyszczenia powietrza poprzez zmniejszenie zużycia paliw konwencjonalnych, jak również redukcję gazów cieplarnianych.

**Produkcja energii w systemach osadowych.** Osady ściekowe mogą być źródłem energii elektrycznej i ciepłej. Najistotniejszy postęp następuje w wykorzystaniu potencjału energetycznego komunalnych osadów ściekowych, szczególnie w dużych aglomeracjach, w których zastosowano termiczne przekształcanie komunalnych osadów ściekowych, co łączy się jednak z koniecznością rozwiązania problemu powstających popiołów. Na świecie następuje znaczny postęp w przeróbce osadów ściekowych, a do innowacyjnych rozwiązań można zaliczyć: zagęszczanie, odwadnianie i suszenie osadów ściekowych, odzysk fosforu i azotu z odcieków z przeróbki osadów. hydrolizę termiczną oraz ko-fermentację osadów ściekowych z odpadami.

Istnieje szereg wysokosprawnych sposobów zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych, co ma duże znaczenie dla energochłonności dalszych procesów przeróbki osadów, szczególnie procesu ich suszenia. W przypadku suszenia

osadów ściekowych, przy braku komór fermentacyjnych, szczególnie istotnym jest wysokoefektywne odwadnianie przed procesem suszenia, co znaczenie zmniejsza rozmiary samej suszarni. Na rynku istnieje szereg rozwiązań różnego rodzaju suszarni i pojawiają się coraz to nowsze. Zastosowano również wykorzystanie biogazu do suszenia osadów.

Jednakże, w przypadku termicznego suszenia osadów ściekowych niezwykle istotną jest sprawa bezpieczeństwa, która często nie była brana pod uwagę. Bezpieczeństwo wybuchowe jest znacznie lepiej rozpoznane w wielu branżach przemysłowych niż w branży wodociągowo – kanalizacyjnej, w której dotychczas koncentrowano się głównie na zabezpieczeniu przed wybuchem w kanałach ściekowych. Wysoka skuteczność zastosowanego mechanicznego zagęszczania oraz odwadniania osadów ściekowych ma duże znaczenie dla energochłonności dalszych procesów przeróbki osadów, szczególnie procesu ich suszenia. Istnieje szereg innowacyjnych i wysokosprawnych sposobów odwadniania osadów i układów wspomagających. W przypadku braku komór fermentacyjnych, istotnym jest wysokoefektywne odwadnianie przed procesem ich suszenia, które znaczenie zmniejsza rozmiary samej suszarni.

W przypadku istnienia wydzielonych komór fermentacyjnych, celowym może okazać się zastosowanie procesu hydrolizy termicznej przed komorami fermentacyjnymi i wykorzystanie zwiększonych ilości powstałego biogazu., Ko-fermentacja osadów ściekowych z odpadami ulegającymi biodegradacji stanowi również rozwiązanie pozwalające na dalszą intensyfikację produkcji biogazu i może umożliwić rozwiązanie problemu zagospodarowania mokrej frakcji odpadów komunalnych. Istotnym jest także zastosowanie instalacji do usuwania substancji biogennej z odcieków z odwodnionych osadów, zamiast zawracania ich do oczyszczania łącznie z dopływającymi ściekami do oczyszczalni. Ocieki zawierają bowiem duże ładunki zanieczyszczeń, co powoduje znaczne zwiększenie zużycia energii w przypadku ich recykulacji i ponownego biologicznego oczyszczania. Istnieje wiele innych rozwiązań innowacyjnych, takich jak reaktory oparte o ciecz nadkrytyczną, która tworzona jest z wody przy wysokim ciśnieniu i temperaturze. Świadczą one o dużych możliwościach innowacyjnych i optymalizacyjnych. Istotna jest przy tym optymalizacja oraz integracja z nowymi technologiami.

## 20.6. Podsumowanie

Zmieniająca się sytuacja świata powoduje, że konieczne są zrównoważone rozwiązania dla gospodarki wodno-ściekowej, w zakresie zaopatrzenia w zdrową wodę, dostępną dla ludności pod względem cenowym, a szczególnie w zakresie efektywnego oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów ściekowych.

W Polsce, istnieją tysiące oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych, a na świecie zbudowano ich setki tysięcy. Większość z nich zasilana jest energią z paliw kopalnianych, w tym z węgla. Aktualnie, sytuacja ta zaczęła się zmieniać w rozwiniętych gospodarczo państwach, w tym również, chociaż stosunkowo wolniej, i w Polsce.

Systemy ściekowe, zaczynają być postrzegane nie tylko w ich tradycyjnej roli jaką jest oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych, ale również w nowej roli związanej z produkcją zasobów i energii. Oczyszczalnie ścieków mogą stać się producentami energii elektrycznej i ciepłej oraz wielu cennych zasobów, z których najcenniejszym są zasoby wodne. Inne możliwe zasoby do uzyskania to między innymi: wodór i związki biogenne, szczególnie fosfor, a nawet plastiki. Idea tworzenia zakładów produkcji odzyskiwanych zasobów, zamiast tradycyjnych oczyszczalni ścieków, powstała i została już wprowadzona w życie w USA. Federacja Środowiska Wodnego, o zasięgu globalnym, uznała ścieki i osady ściekowe za nowe źródła energii odnawialnej, co stworzyło nowe perspektywy ekonomiczne i stało się niezwykle bodźcem dla opracowania i wdrożenia wielu rozwiązań innowacyjnych. W Europie, w tym samym czasie pojawiła się nowa koncepcja gospodarki cyrkulacyjnej (gospodarki o obiegu zamkniętym – GOZ), która w początkowym okresie, była skierowana głównie na odpady.

Zmiana paradygmatu dla przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w kierunku odzysku surowców i energii ze ścieków i osadów może odegrać istotną rolę w zrównoważonym rozwoju miast i w ograniczaniu zmian klimatycznych. Działania te przyniosą korzyści o charakterze ekonomicznym i środowiskowym. Możliwy jest spadek zanieczyszczenia powietrza związanego ze zmniejszeniem zużycia paliw konwencjonalnych oraz redukcja gazów cieplarnianych. Celowym jest rozszerzenia powyższego paradygmatu z indywidualnych oczyszczalni na systemy oczyszczania w zlewniach, dorzeczach i zlewiskach.

Zastosowanie gospodarki cyrkulacyjnej może zintensyfikować rozwiązanie szeregu problemów związanych ze ściekami oraz osadami ściekowymi, nie tylko w zakresie odzysku energii. Odzysk fosforu z osadów ściekowych zaczyna nabierać szczególnego znaczenia wraz ze zmniejszaniem się światowych zasobów fosforu (składnik nawozów) i wzrostem zapotrzebowania na produkty rolne.

W tym zakresie, pojawiły się już pewne innowacyjne technologie odzysku fosforu z odcieków z przeróbki osadów, w tym technologia do produkcji nawozu. Powstający wysokiej jakości nawóz fosforowo-azotowo-magnezowy, jest o powolnym uwalnianiu się i zwiększonej efektywności, co jest szczególnie istotne w obliczu zachodzących zmian klimatycznych i intensywnych wpływów powierzchniowych, zwiększających zanieczyszczenie wód. Z punktu widzenia gospodarki cyrkulacyjnej odzysk struwitu zamyka obieg fosforu w przyrodzie. Należy dodać,

że odzysk substancji biogenych, w formie struwitu, zapobiega jego odkładaniu się w rurociągach, zaworach i urządzeniach oraz wewnątrz komór fermentacyjnych, jak też eliminuje związane z tym koszty eksploatacyjne i remontowe. W Polsce, pierwsza innowacyjna instalacja do odzysku fosforu powstaje w Jarocinie.

Istnieje wiele przykładów innych rozwiązań innowacyjnych i optymalizacyjnych. Istotna jest przy tym integracja istniejących rozwiązań z nowymi technologiami. Wymaga to jednak wszechstronnego zbadania pojawiających się technologii zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i w instalacjach pilotowych. Świadczą to również o dużych możliwościach innowacyjnych tkwiących w gospodarce cyrkulacyjnej.

Istotnym jest jednak zabezpieczenie aby gospodarka cyrkulacyjna, a szczególnie wytwarzane przez nią nowe produkty, nie stawały się toksycznymi. Opracowywanie i wdrażanie innowacyjnych technologii wodnych, ściekowych i osadowych i ich integracja wymaga jednak odpowiedniego wsparcia finansowego projektów badawczo – wdrożeniowych, o czym dobitnie świadczy raport z 2019 roku, opracowany przez Komitet Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk [8].

## Bibliografia

1. Gromiec M.: Nowe koncepcje gospodarki wodno-ściekowej-osadowej. W: Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce. Raport. Bień J., Gromiec M., Pawłowski L (Red.): Monografie Nr 166. Komitet Inżynierii Środowiska PAN. Wyd. Polskiej Akademii Nauk, Lublin 2020.
2. National Association of Clean Water Agencies, Water Environmental Federation, Water Environment Research Foundation: Resources Utility of the Future. A Blueprint for Acton. 2012.
3. Water Environmental Federation: Moving toward resource recovery facilities. A Special Publication, Alexandria, VA, USA, 2014.
4. Gromiec M.: Nowa rola systemów wodno-ściekowych: produkcja zasobów i energii. Kierunek Wod-Kan 4,76-81, 2015.
5. Gromiec M.: Osady ściekowe w gospodarce cyrkulacyjnej. Wodociągi i Kanalizacja 4,10-13, 2018.
6. Gromiec M.: Wpływ koncepcji gospodarki cyrkulacyjnej i nowego paradygmatu wodnego na odzysk wody. Kierunek Wod –Kan 4,10-14, 2018.
7. Gromiec M.: Odnowa wody ze ścieków do nawodnień rolniczych. Gospodarka Wodna 11, 17-19, 2019.
8. Gromiec M, Pawłowski L., (Red.): Zanieczyszczenia wód w Polsce. Stan, Przyczyny, Skutki. Raport. Komitet Inżynierii Środowiska PAN. Monografia Nr 164. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Lublin 2019.

## 21. Odzysk fosforu do produkcji nawozów

Na świecie prowadzone są intensywne prace badawczo-wdrożeniowe nad różnymi metodami odzysku substancji biogennych, w tym fosforu, ze ścieków i osadów ściekowych. W rozdziale przedstawiono przykłady zastosowania technologii krystalizacji struwitu w reaktorach fluidalnych, głównie do odzysku fosforu z odcieków z przeróbki osadów ściekowych, które świadczą o jej praktycznej użyteczności i efektywności. W rozdziale przedstawiono wybrane przykłady instalacji do praktycznego zastosowania odzysku substancji biogennych, szczególnie implementacji odzysku fosforu poprzez technologię krystalizacji struwitu z odcieków z przeróbki osadów ściekowych w Ameryce Północnej i Europie. Konieczność redukcji coraz większych ładunków substancji biogennych dla zabezpieczenia odbiorników przed eutrofizacją i związanych z tym coraz ostrzejszych kryteriów jakościowych dla ścieków odprowadzanych do wód, sprawia, że instalacje odzysku zaczynają powstawać również na dużych komunalnych oczyszczalniach ścieków, lub jako duże instalacje regionalne. Mimo, iż szereg instalacji istnieje na małych i średnich oczyszczalniach ścieków, to obecnie największa na świecie instalacja odzysku fosforu powstała również na oczyszczalni w Metropolii Chicago. Rozdział oparto o zmodyfikowane prace [1-2].

### 21.1. Przesłanki odzysku fosforu

Fosfor stanowi podstawowy element utrzymania życia. Jednakże wysokie stężenia fosforu i azotu rzucane do wód powodują eutrofizację środowiska wodnego. Powszechnie panuje pogląd, że fosfor – stanowiący źródło życia, należy z jednej strony do tzw. krytycznych materiałów surowcowych jako fosforan, zaś z drugiej – stanowi jedną z głównych przyczyn eutrofizacji wód.

Idea gospodarki cyrkulacyjnej sprawia, że powstały przesłanki i możliwości odzysku fosforu, między innymi z odcieków z przeróbki osadów ściekowych, umożliwiające wykorzystanie odzyskanego fosforu do produkcji ekologicznego nawozu. Umożliwia to zamknięcie obiegu fosforu w przyrodzie, zgodnie z ideą gospodarki cyrkulacyjnej, która znajduje coraz szersze zastosowanie nie tylko w gospodarce odpadowej, ale również w gospodarce wodno-ściekowej.

Konieczność redukcji coraz większych ładunków substancji biogennych dla zabezpieczenia odbiorników przed eutrofizacją i związanych z tym coraz ostrzejszych kryteriów jakościowych dla ścieków odprowadzanych do wód, sprawia, że nie tylko małe i średnie instalacje, ale też duże instalacje odzysku zaczynają powstawać na dużych komunalnych oczyszczalniach ścieków, lub jako duże instalacje

regionalne. Sprzyja temu ekonomika skali, jak też korzyści ekonomiczne uzyskiwane między innymi ze sprzedaży ekologicznego nawozu.

Implementacja odzysku fosforu pozwala na spowolnienie procesu eutrofizacji zasobów wodnych. Według UNEP, zanieczyszczenie zasobów wodnych substancjami biogennymi stanowi jeden z największych problemów środowiskowych XXI wieku, powodujący zakwity glonów i strefy martwe w sąsiednich ekosystemach wodnych, szczególnie morskich.

Bardziej istotnym, niż występujący problem środowiskowy, może okazać się fakt szybko zmniejszających się światowych zasobów fosforu oraz to, że zasoby te znajdują się one w rękach nielicznych państw.

## 21.2. Technologia do odzysku fosforu w formie nawozu

Innowacyjna technologia pod nazwą Perła (ang. Pearl), zwana również procesem Ostara Real, jest intensywnie wdrażana przez firmę kanadyjską Ostara Nutrients Recovery Technologies Inc. Należy dodać, że technologię powyższą, opartą na krystalizacji struwitu w reaktorach fluidalnych typu Pearl, opracowano na Uniwersytecie Columbia, a następnie firma Ostara ją opatentowała i skomercjalizowała.

Technologia wykorzystuje reaktory ze złożem fluidalnym, odzyskujące substancje biogenne (azot i fosfor), szczególnie fosfor w postaci struwitu, głównie z odcieków z przeróbki osadów ściekowych. W technologii stosowane są następujące typy reaktorów: Pearl-500, Pearl-1000, Pearl-2000, Pearl-10000, które projektowane są w oparciu o ładunek fosforu, w postaci  $P-PO_4$  (ortofosforanów). Przykładowo reaktor typu Pearl-2000 ma nominalną zdolność usuwania około 250 kg  $P-PO_4/d$  oraz 250 kg  $N-NH_3/d$ . Reaktor ten ma wymiary: wysokość – 12 m, średnica – 3,25 m, natomiast jego waga wynosi około 9100 kg – reaktor pusty i około 36 300 kg – reaktor działający.

Wytworzony nawóz, wolny od pyłów i wysokim stopniu czystości w wysokości 99,9%, sprzedawany jest pod nazwą handlową Crystal Greek. Powolne uwalnianie tego nawozu, dochodzące do 12 miesięcy, powoduje, że ograniczone jest jego przedostawanie się do wód. Nawóz stosuje się głównie do trawników komunalnych i pól golfowych oraz w rolnictwie i ogrodnictwie.

Podstawowe korzyści z zastosowania procesu odzysku fosforu na komunalnych oczyszczalniach ścieków są następujące:

- obniżenie ładunków substancji biogennych w odciekach z przeróbki osadów ściekowych, zwracanych do ponownego ich oczyszczania, co zmniejsza konieczność ich biologicznego usuwania,
- minimalizacja zastosowania chemicznego strącania fosforu, co obniża koszty związane z chemikaliami i z usuwaniem osadów ściekowych,



- redukcja zawartości fosforu związanego z osadami ściekowymi, co stanowi innowacyjny sposób usuwania fosforu z systemu,
- produkcja ekologicznego nawozu, co umożliwia odzysk fosforu i jego wtórne wykorzystanie, zwiększając tym samym jego rezerwy jako zasobu,
- eliminacja gazów cieplarnianych odprowadzanych do atmosfery w związku ze zmniejszeniem zużycia energii do biologicznego oczyszczania ścieków, opartej na źródłach konwencjonalnych.

Należy dodać, że usuwanie substancji biogenych w formie struwitu zapobiega jego odkładania się w rurociągach, zaworach i urządzeniach i eliminuje związane z tym koszty eksploatacyjne i remontowe.

### **21.3. Instalacje do odzysku fosforu w Ameryce Północnej**

Recykulację fosforu w Ameryce Północnej umożliwiają innowacyjne technologie, które szybko znajdują zastosowanie w praktyce. Jedną z nich, powszechnie stosowaną, jest wspomniana technologia Pearl, dotycząca odzysku substancji biogenych, szczególnie fosforu, w formie struwitu (fosforanu magnezowo-amonowego –  $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ). Początkowo, technologia ta znalazła zastosowanie w instalacjach odzysku na mniejszych oczyszczalniach kanadyjskich, a obecnie zaczęła być stosowana na dużych oczyszczalniach amerykańskich. Pierwsza pilotowa instalacja z reaktorem Pearl, o wydajności 480 m<sup>3</sup>/d, została uruchomiona w 2007 roku w mieście Edmonton, w Kanadzie.

Następne instalacje odzysku fosforu powstawały w USA, na początku w mniejszych i średnich miastach, takich jak: York (Pensylwania), Suffolk (Wirginia), Tigard (Oregon).

Komunalna czyszczalnia miasta York (96 tys. m<sup>3</sup>/d) odprowadza oczyszczone biologicznie ścieki do strumienia Codorus wpływającego do Zatoki Chasapeake, gdzie w roku 2011, z uwagi na sytuację ekologiczną tego akwenu, zaostrożono wymagania dla oczyszczania ścieków do 0,8 mg P/dm<sup>3</sup>. Natomiast, komunalna oczyszczalnia miasta Suffolk (134 tys.m<sup>3</sup>/d) odprowadza biologicznie oczyszczone ścieki do rzeki James, wpływającej przez Zatokę Hampton Road również do Zatoki Chesapeake, będącej największym estuarium USA, połączonym z Oceanem Atlantyckim. Warto dodać, że Okręg Sanitarny Zatoki Hampton Road (HRSD) obsługuje 17 gmin i miast o całkowitej liczbie ludności 1,6 mln mieszkańców i posiada 13 oczyszczalni ścieków, w tym oczyszczalnię w Suffolk. Komunalna oczyszczalnia miasta Tigard (76 tys. m<sup>3</sup>/d), stanowiącego przedmieście Portland, chroni zasoby wodne rzeki Tualatin. Tualatin to rzeka bardzo czuła, pod względem ekologicznym, na substancje biogenne. Oczyszczalnie, odprowadzające ścieki do tej rzeki, muszą spełnić bardzo ostre standardy dla oczyszczonych ścieków,



szczególnie w okresie letnim, gdy graniczne stężenie fosforu ogólnego w odpływie winno wynosić 0,1 mg/dm<sup>3</sup>.

Organizacja ochrony wód zlewni rzeki Tualatin, pod nazwą Usługi dla Czystej Wody (ang. Clean Water Services), w stanie Oregon eksploatuje 4 oczyszczalnie ścieków obsługujące około 540 tys. mieszkańców w zurbanizowanym okręgu Washington, leżącym na zachód od miasta Portland. Przykładami oczyszczalni, o znacznie podwyższonym usuwaniu biogenów są: oczyszczalnia Rock Creek w mieście Hillsboro o przepływie ścieków wynoszącym 132 tys. m<sup>3</sup>/d oraz wspomniana powyżej oczyszczalnia Durham w mieście Tigard.

Oczyszczalnia w Hillsboro była pierwszą w USA, na której, w czerwcu 2009 roku, w partnerstwie z kanadyjską firmą Ostara, wybudowano 3 fluidalne reaktory Pearl typu 500, odzyskujących fosfor z odcieków po przeróbce osadów ściekowych. Podobne reaktory, do odzysku fosforu, postawiono również na oczyszczalni Durham. Dwa lata później (rok 2011) postanowiono w Hillsboro zainstalować 2 nowe reaktory Pearl typu 2000, czterokrotnie większe niż reaktory Pearl typu 500. Pozwoliło to osiągnąć łączną produkcję nawozu Crystal Greek w wysokości 1200 ton nawozu/rok, w porównaniu do poprzedniej produkcji 500 ton/rok. Również oczyszczalnia Durham zwiększyła odzysk fosforu, zamieniając jeden reaktor Pearl typu 500 na reaktor Pearl typu 2000.

**Instalacja odzysku fosforu w Metropolii Chicago.** Obecnie, największa na świecie instalacja Pearl odzysku fosforu powstała w Chicago, Illinois. Początki organizacji ochrony wód Metropolii Chicago sięgają roku 1889, gdy utworzono specjalną agencję rządu stanowego pod nazwą Chicagowski Rejon Sanitarny (ang. Sanitarny District Chicago), mający wówczas na celu ochronę wód Jeziora Michigan, poprzez odwrócenie biegu rzeki Chicago. Od tego czasu, agencja nie tylko zmieniała swoje nazwy, ale również redefiniowała swoją misję i cele działania, nadążając za zmieniającymi się koncepcjami ochrony wód. Aktualna nazwa to Metropolitalny Rejon Odzyskiwania Wody Wielkiego Chicago (ang. Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago – MWRD).

Obecną misją strategiczną organizacji MWRD są ochrona zdrowia i bezpieczeństwa publicznego poprzez: utrzymanie dobrej jakości wody Jeziora Michigan (stanowiącego źródło zaopatrzenia w wodę do picia Chicago), ochrona i polepszenie wody w dopływach, ochrona przed powodzią i gospodarowanie wodą – jako cennym zasobem. Misja tej organizacji oparta została na następującej przesłance: nowej roli zakładu użyteczności publicznej, polegającej na odzysku surowców i odnowie wody.

W roku 2016, całkowity budżet organizacji wynosił 1,6 mld USD i był przeznaczony na: ochronę przed powodzią i ochronę przed zanieczyszczeniem – 36,2 %, oczyszczanie i przeróbkę osadów ściekowych – 21,3%, zbieranie ścieków –

6,4 %, wydatki organizacji – 36,1% (spłata pożyczek, fundusz emerytalny, fundusz ochrony zdrowia personelu i inne wspierające działalność). Pobrane opłaty w 2016 roku wynosiły 577,8 mln USD i były wyższe o 3,3% (18,5 mln USD) niż w 2015 roku. Należy dodać, że zatwierdzona, od dnia 1 czerwca 2017 roku, przez Burmistrza i Radę Chicago, wysokość opłaty za pobór wody wynosi 1,025 USD/m<sup>3</sup> (w przypadku pomiaru jej zużycia licznikiem) oraz drugie tyle wysokość opłaty za ścieki. Stanowi to łączną opłatę za wodę i ścieki w wysokości 2.05 USD/m<sup>3</sup>, co okazało się umożliwić również dalsze inwestycje. Główne przedsięwzięcia inwestycyjne MWRD związane są z: budową zbiorników wodnych, odzyskiem cennych zasobów (w tym fosforu i azotu), osiaganiem neutralności energetycznej, jak też z ochroną przeciwpowodziową. Organizacja zarządza oczyszczaniem ścieków pochodzących z obszaru około 2 290 km<sup>2</sup>, od około 5 mln mieszkańców miasta Chicago oraz 155 miejscowości podmiejskich w Okręgu Cook, Illinois. Ścieki oczyszczane są w 7 oczyszczalniach, z których największą jest oczyszczalnia o nazwie „Stickney”, której część zachodnia powstała już w 1930 roku, a część południowo-zachodnia w roku 1939. Całkowita roczna ilość oczyszczanych ścieków wynosi 1,7 mld m<sup>3</sup>.

Problem eutrofizacji wód był szczególnym przedmiotem analizy MWRD, która sprawiła, że podjęto decyzję o budowie dużej instalacji do odzysku fosforu (rys. 21.1. i rys. 21.2.), która powstała na oczyszczalni ścieków Stickney, o obecnej nazwie – Zakład Odzysku Wody Stickney (ang. Stickney Water Reclamation Plant) w Cicero, Illinois. Maksymalna pojemność tej oczyszczalni, należącej do MWRD, wynosi 5,3 mln m<sup>3</sup>/d. Do oczyszczalni, dopływa obecnie około 2,65 mln m<sup>3</sup>/d ścieków, obsługując 2,3 mln mieszkańców z miasta Chicago i 46 podmiejskich miejscowości. Oczyszczalnia „Stickney” wytwarza 350 ton s.m. osadów/d.

W zakresie usuwania fosforu całkowitego, oczyszczania „Stickney” uzyskiwała dotychczas stężenie odpływu około 2,0 mg P/dm<sup>3</sup> mając limit stężenia odpływu wynoszący 1,0 mg P/dm<sup>3</sup>. Podjęto próby optymalizacji biologicznego usuwania fosforu metodą osadu czynnego oraz minimalizacji ładunków fosforu (24%) z odcieków z przeróbki osadów ściekowych, decydując się w końcu na budowę instalacji do odzysku fosforu. Projektantem i realizatorem inwestycji była znana firma amerykańska Black & Veatch Construction Inc., w konsorcjum z 20 firmami pomocniczymi, a dostawcą technologii – kanadyjska firma Ostara Nutrients Technologies Inc., która zaproponowała trzy innowacyjne i zintegrowane rozwiązania:

- technologię Ostara – opartą o reaktory fluidalne Pearl,
- rozwiązanie dotyczące reaktora do uwalniania fosforu związanego w osadzie nadmiernym (ang. **W**aste **A**ctivated **S**ludge **S**tripping to remove **I**nternal **P**hosphorus – WASSTRIP) –powodujące wzrost odzysku fosforu i równocześnie ochraniające komory fermentacyjne przed tworzeniem się struwitu, oraz

- technologię Crystal Green – produkcji wolno uwalniającego się ekologicznego nawozu.

Wybór firmy Black & Vetach oraz firmy Ostara przez MWRD nastąpił w 2013 roku. Faza projektowania trwała od 2013 roku do października 2014 roku, fazę budowy ukończono w ciągu około 1,5 roku. W dniu 25 maja 2016 roku nastąpiło uroczyste otwarcie instalacji, po którym nastąpiła faza jej uruchamiania.

Odzysk fosforu i azotu, w instalacji, z reaktorem WSSTRIP, realizowany jest w trzech reaktorach fluidalnych typu Pearl 10 000, odzyskujących fosfor z odcieków z przeróbki osadów. Do reaktorów fluidalnych dodawane są chemikalia ( $Mg Cl_2$  oraz  $Na OH$ ), w kontrolowanym środowisku pH. Budowa instalacji pozwala zasadniczo obniżyć odprowadzany ładunek substancji biogennych oraz ochronić jakość zasobów wodnych systemu rzek Chicago/Calumet a w dalszej kolejności wód rzeki Missisipi, przed zanieczyszczeniem związkami fosforu. Stężenie fosforu całkowitego w odpływie z oczyszczalni wynosi  $0,3 \text{ mg/dm}^3$ . Przyczynia się to do zredukowania zjawiska eutrofizacji oraz ograniczenia tworzenia się stref hipoksji (niedoborów tlenu) w Zatoce Meksykańskiej.

Warunki kontraktu zawartego między MWRD a firmą Ostara obejmowały: 20-letni okres realizacji, utrzymanie standardów jakości oraz zapłatę operatorowi przez firmę Ostara w wysokości 400 USD za każdą tonę wyprodukowanego nawozu. Ponieważ obecnie instalacja daje możliwość wyprodukowania około 10 tysięcy ton fosforu/rok, to uzyskiwana roczna kwota ze sprzedaży wynosi 4,0 mln USD. Podczas konferencji i targów technicznych WEFTEC-2017 w Chicago, w dniu 3 października 2017 roku, Amerykańska Federacja Środowiska Wodnego (ang. Water Environment Federation – WEF) przyznała prestiżową Nagrodę Doskonałości Projektu (ang. Project Excellence Award) za realizację tej największej obecnie na świecie instalacji odzysku fosforu w Chicago.

#### 21.4. Przykłady realizacji odzysku fosforu w Europie

Praktyczna realizacja odzysku substancji biogennych, opartych o reaktory fluidalne firmy Ostara, nabiera szybkiego tempa. Poniżej przedstawiono przykłady takich działań w praktyce.

**Holandia** jest jednym z europejskich pionierów zastosowania odzysku fosforu. Przykładem stanowi działalność Holenderskiego Regionalnego Urzędu Wodnego Vliet-Veluwe. Holandia jest jednym z europejskich pionierów odzysku fosforu, który w 2016 roku zrealizował instalację do odzysku fosforu w mieście Amersfoort. Instalacja, która odzyskuje fosfor z odcieków z przeróbki osadów ściekowych, oparta została o reaktor fluidalny typu Pearl firmy Ostara. Reaktor ten (NuReSys) odzyskuje 900 ton/rok struwitu, przekształcanego w nawóz ekologiczny. Istotnym



Rys. 21.1. Instalacja do odzysku fosforu na oczyszczalni „Stickney” w Chicago

jest, że w zakresie osadów ściekowych jest to rozwiązanie regionalne, ponieważ oprócz osadów pochodzących z miasta Amersfoot doprowadzane są również osady z oczyszczalni trzech innych miast: Sjest, Nijkert, Woudeberg. Do bez-tlenowej przeróbki osadów ściekowych zastosowano hydrolizę termiczną (TurboTec) i w wyniku takiego rozwiązania oczyszczalnia w Amersfoot stała się nie tylko całkowicie (w 100%) samowystarczalna energetycznie, ale również zasila dodatkowo w energię elektryczną 600 domów przez cały rok.

W **Hiszpanii**, przedsiębiorstwo hiszpańskie Canal de Isabel II, zajmujące się gospodarowaniem wodną regionu Madrytu (6,5 mln ludzi), uruchomiło, w roku 2016, w jednej ze swoich oczyszczalni ścieków (oczyszczalnia Sur de Madrid), zlokalizowanej nad rzeką Manzanares, instalację odzysku fosforu, która produkuje około 100 ton struwitu/rok). Instalację zrealizowała firma Veolia Water Technologies.



Rys. 21.2. Rozwiązanie firmy Ostara na oczyszczalni w Chicago

Należy również podkreślić, że **Niemcy** uczyniły największy i konkretny postęp ze wszystkich państw należących do UE w zakresie nowoczesnej legislacji związanej z osadami ściekowymi, ale nowelizacja rozporządzenia w sprawie komunalnych osadów ściekowych była dyskutowana przez ponad 10 lat. Według rozporządzenia (Dz. Fed. I, 65, s.3465-3512), które weszło w życie dnia 3 października 2017 roku, oczyszczalnie ścieków, o wielkości powyżej 100 tys. RLM, muszą podjąć działania dotyczące odzysku fosforu do dnia 1 stycznia 2029 roku (w okresie 12 lat), jak też, oczyszczalnie o wielkości powyżej 50 tys. RLM, do dnia 1 stycznia 2032 roku (w okresie 15 lat), i nie będzie już możliwe rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych. Ponieważ odzysk fosforu następuje gdy zawartość fosforu w osadach wynosi 20 g P/kg s.m., to od dnia 1 stycznia 2023 roku wprowadzono nakaz analizowania wysokości zawartości fosforu oraz sporządzania raportów o podjętych działaniach związanych z odzyskiem fosforu.



W **Polsce**, Europejskie Centrum Ekologiczne – Krevox, w porozumieniu z firmą Ostara, rozpoczęło proces wdrażania technologii Pearl do odzysku substancji biogennych, głównie fosforu, z odcieków z przeróbki osadów. Pierwsze badania, w skali pilotowej, zostały przeprowadzone na kilku oczyszczalniach komunalnych (Gdynia, Poznań, Warszawa-Południe, Rzeszów, Jarocin), w których uzyskano odzysk fosforu w granicach 80-90%. Pierwsza w Polsce i Europie Środkowo-Wschodniej instalacja do odzysku fosforu, w pełnej skali technicznej, zostanie zrealizowana w Jarocinie. Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji (PWiK) w Jarocinie realizuje projekt dotyczący modernizacji gospodarki wodno-ściekowej, w ramach którego planowana jest między innymi budowa instalacji odzysku fosforu. Odzyskany fosfor, w formie stuwitu, będzie wykorzystany do produkcji nawozów.

Budowę instalacji do odzysku fosforu planuje się zakończyć w 2021 roku. Wykonany projekt poprzedzony był badaniami pilotowymi nad odzyskiem biogenów przeprowadzonymi na oczyszczalni Cielcza w Jarocinie.

Szczególnie duże miasta, winny dawać przykład praktycznego przyczyniania się do rozwiązywania problemu eutrofizacji wód rzek i morza, w zlewisku Bałtyku. Powyższe łączy się ściśle z rekomendacjami Komisji Helsińskiej o odzysku fosforu z osadów ściekowych, jak też z ogólną koncepcją UE dotyczącą gospodarki o obiegu zamkniętym. Wydaje się, że miasto Warszawa, z jej oczyszczalniami ścieków („Południe” i „Czajka”), mogłoby stać się centrum testowania i wdrażania nowoczesnych technologii oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych, a w przyszłości – odnowy wody ze ścieków komunalnych do różnych celów.

## **21.5. Podsumowanie**

Na świecie, a szczególnie w Ameryce Północnej i Europie, następuje rewolucja w zakresie odzysku substancji biogennych, szczególnie fosforu, z osadów ściekowych. Przyczyniły się do tego nowe idee i nowe prawodawstwo w gospodarce odpadowej i gospodarce wodno-ściekowej, w tym w zagospodarowaniu osadów ściekowych, takie jak nowy paradygmat gospodarki wodno-ściekowej czy koncepcja gospodarki cyrkulacyjnej. Istotnym też było zalecenie Nr 38/1 Komisji Helsińskiej z 2017 roku na temat przeróbki osadów ściekowych, dotyczące również odzysku fosforu, mający na celu również ochronę środowiska morskiego. Wskazało w nim między innymi na celowość promowania badań i efektywnych ekonomicznie rozwiązań w zakresie odzysku fosforu z osadów ściekowych i produktów ich przeróbki. W przypadku spalania osadów ściekowych, stwierdzono w nim, że fosfor winien być odzyskiwany przed spaleniem, albo odzyskiwany po spaleniu osadów, jeśli jest to technicznie i ekonomicznie

możliwe. Znaczący postęp legislacyjny w zakresie odzysku fosforu z osadów ściekowych nastąpił w 2017 roku w Niemczech.

W pewnych państwach, szczególnie w Holandii, organizacje zlewniowe są promotorami i często sponsorami odzysku fosforu z odcieków z przeróbki osadów ściekowych, co związane jest głównie z przeciwdziałaniem eutrofizacji wód. Natomiast, przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne wprowadzają nowoczesne instalacje odzysku fosforu licząc również na zysk z produkowanych nawozów ekologicznych, który pozwoli na utrzymanie lub nawet zmniejszenie wysokości taryfy. Przedsiębiorstwa zobligowane są bowiem do spełniania zaostrzonych standardów w stosunku do substancji biogenych i ponoszą związane z tym rosnące koszty eksploatacyjne.

Należy podkreślić, że w wielu państwach na świecie, w tym w państwach członkowskich UE, trwają intensywne prace badawczo-wdrożeniowe nad różnymi metodami odzysku fosforu z osadów ściekowych. Należy jednak podkreślić, że przedstawione przykłady zastosowania technologii krystalizacji struwitu w reaktorach fluidalnych, w skali pełnej technicznej, głównie do odzysku fosforu z odcieków z przeróbki osadów ściekowych, świadczą o jej efektywności i użyteczności praktycznej.

## **Bibliografia**

1. Gromiec T., Gromiec M.: Reaktory ze złożami fluidalnymi: Innowacyjna metoda odzysku fosforu. Kierunek WOD-KAN 2, 50-53, 2016.
2. Gromiec T., Gromiec M.: Postęp w odzysku fosforu z odcieków z przeróbki osadów ściekowych za pomocą technologii krystalizacji struwitu w Ameryce Północnej i Europie-wybrane przykłady. Gospodarka Wodna 2019



## **22. Usuwanie/odzysk metali oraz chemikaliów z wód technologicznych**

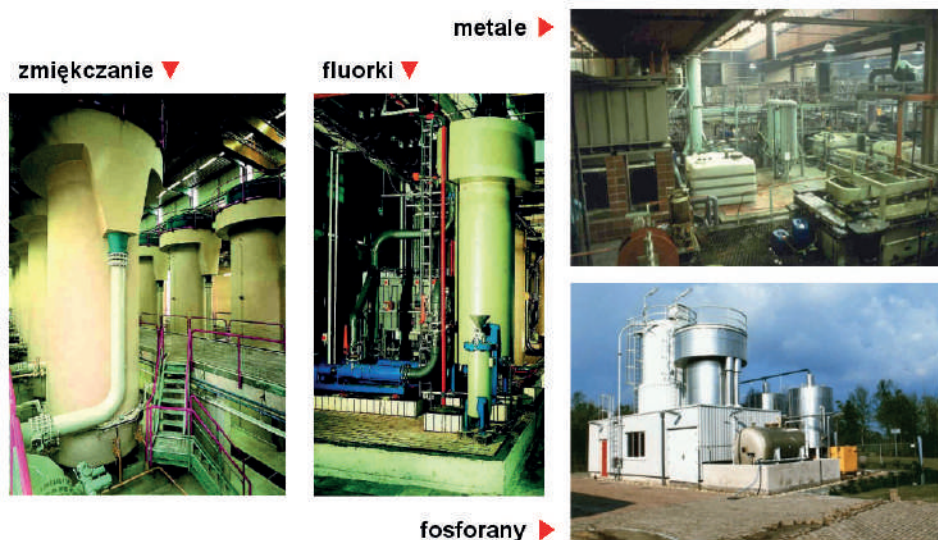
Istnieją przesłanki środowiskowe do celowości usuwania metali z wód technologicznych oraz ścieków, związane głównie z ochroną zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem, jak też przesłanki ekonomiczne związane z ewentualną możliwością ich odzysku. Na wskaźnikowej liście najważniejszych zanieczyszczeń w RDW, metale i ich związki znajdują się na siódmym miejscu i stanowią niezwykle istotne zagrożenie dla zdrowia ludzi i środowiska wodnego. Dlatego istotnym jest wybór technologii, która umożliwi usuwanie metali i równoczesny ich odzysk. Warunek taki spełnia technologia wykorzystująca proces krystalizacji w złożu fluidalnym. Technologia powyższa, w przeciwieństwie do konwencjonalnego procesu strącania, pozwala na wytwarzanie produktów zamiast odpadów. W praktyce efektywnego oczyszczania wody/ścieków do odzysku metali z wód technologicznych znalazła zastosowanie technologia Crystalactor firmy Royal Haskoning DHV [1]. Początkowo została zastosowana głównie do zmiękczenia wody technologicznej i w tym zakresie powstało wiele instalacji w skali technicznej. Technologię zastosowano również do odzysku metali z wód technologicznych i ścieków, jak również do usuwania fosforanów ze ścieków i ścieków oraz do odzysku wody ze stężonych roztworów po procesach membranowych. Powyższe stanowi dodatkową przesłankę do wyboru technologii Crystalactor do usuwania/odzysku metali i innych zanieczyszczeń z wód technologicznych i ścieków przemysłowych.

### **22.1. Proces krystalizacji w technologii fluidalnej**

Proces krystalizacji, w technologii fluidalnej, realizowany jest w złożu fluidalnym, co umożliwia powstawanie różnego rodzaju produktów, zamiast odpadów. Może być zastosowany nie tylko do odzysku/ usuwania metali, ale do również do innych zastosowań (rys. 22.1).

Główne zastosowania powyższej technologii bezodpadowej, stosowanej przede wszystkim do oczyszczania wody i ścieków, w tym wód technologicznych, są następujące:

- odzysk metali z wód technologicznych i ze ścieków,
- zmiękczenie wody technologicznej i wody do picia,
- usuwanie fosforanów z wód technologicznych i ze ścieków,
- usuwanie fluorków z wód technologicznych i ze ścieków,
- wstępne oczyszczanie wody przed wymianą jonową,



Rys. 22.1. Główne zastosowania procesu krystalizacji w technologii fluidalnej [1]

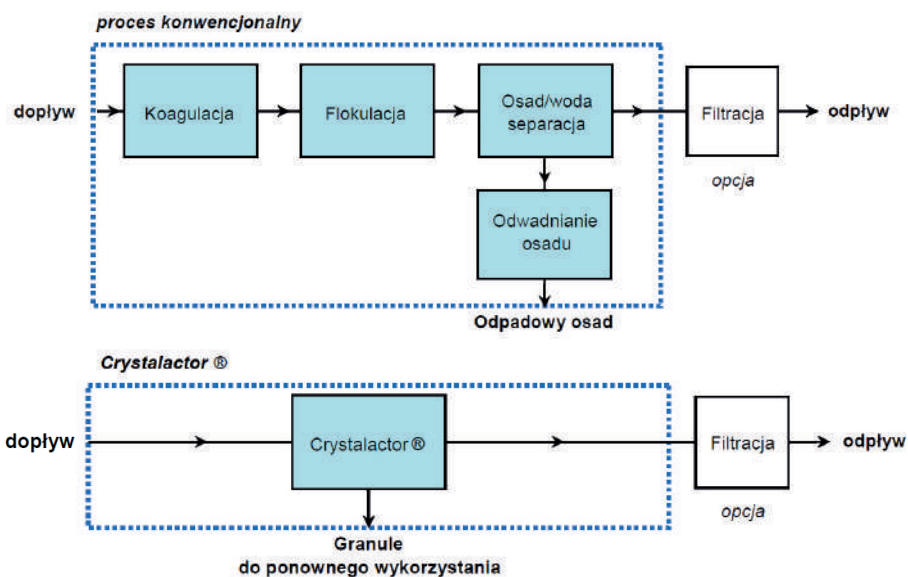
- wstępne oczyszczanie wody przed odsalaniem,
- odzysk wody z koncentratów po procesie membranowym.

Proces krystalizacji w technologii fluidalnej stanowi alternatywę dla strącania konwencjonalnego, które jest procesem wydzielania z roztworu danej substancji (w postaci stałego i trudno rozpuszczalnego związku) przez dodanie stosownej substancji chemicznej. W przeciwieństwie do strącania konwencjonalnego, często stosowanego w oczyszczaniu wody i ścieków, w technologii fluidalnej wytwarza się zamiast odpadów, cenne produkty gotowe do ich dalszego zagospodarowania. Schematy technologii strącania konwencjonalnego oraz technologii Crystalactor przedstawiono na rys. 22.2. Główne zalety tej technologii tej, przedstawione na powyższym wykresie, to kompaktowość (jeden proces zamiast czterech) oraz zerowa lub minimalna ilość odpadów.

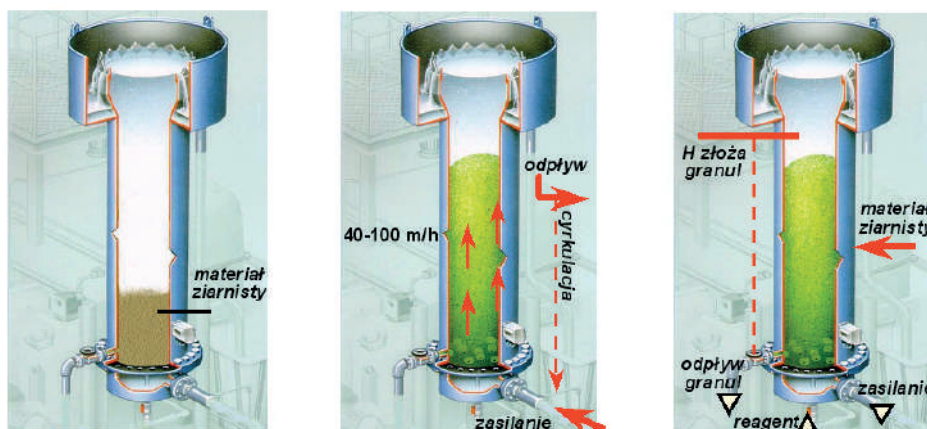
### 23.2. Reaktory stosowane w technologii fluidalnej

Stosowane reaktory do krystalizacji są w formie złóż fluidalnych. Dopływ cieczy i reagenta następuje z dołu do góry, a wytwarzane granulki metali odprowadzane są z dolnej podstawy reaktora, natomiast oczyszczona ciecz odpływa z góry na dół. Poszczególne fazy działania reaktora Crystalactor przedstawione są na rys. 22.3.

Zastosowane reaktory dla złóż fluidalnych są o przekroju kołowym lub prostokątnym. Przykładowo urządzenia o przekroju kołowym posiadają średnicę 0,4-3,5 m, a natężenie przepływu 0,1-10 tys. m<sup>3</sup>/h.



Rys. 22.2. Schematy technologii strącania i krystalizacji [2]



Rys. 22. 3. Działanie reaktora typu Crystalactor [1]

Dobór materiałów do budowy urządzeń fluidalnych dostosowany jest do wymagań zamawiającego. Stosowane materiały to stal, tworzywa sztuczne, lub beton. Reaktory, jako system z jednym reaktorem, lub zespoły reaktorów, wznoszone są na miejscu lub montowane z prefabrykatów.

Wytworzone w reaktorach granulki metali, o średnicy około 1 mm, są zazwyczaj bardzo spoisłe, mają zazwyczaj wysoki stopień czystości i małą zawartość

wody. Porównanie charakterystyk powstających granulek z osadem powstającym podczas strącania konwencjonalnego zostało przedstawione na rys. 22.4 oraz w tablicy 22.1.

Przykład składu w przypadku usuwania fosforanów:

- fosforan wapnia (FW),
- fosforan magnezu (FM),
- fosforan amonowo-magnezowy (FAM),
- fosforan potasowo-magnezowy (FPM).

Należy dodać, że powstające granulki mogą być ponownie wykorzystane, są łatwe do transportu, koszty ich utylizacji są zerowe, a operacja często przynosi zysk. Podstawowa charakterystyka technologii Crystalator przedstawiona jest na rys. 22.5.

Tablica 22.1. Porównanie charakterystyk granulek i osadów [1]

Parametr	Krystalizacja w złożu fluidalnym	Strącanie konwencjonalne
Morfologia	okrągłe granulki 0,8-1,0 mm	osady
Zawartość materiału zaszczipającego	< 5%	–
Skład (FW, FM, FAM, FMP)	90 – 98%	20 – 30% (po odwodnieniu)

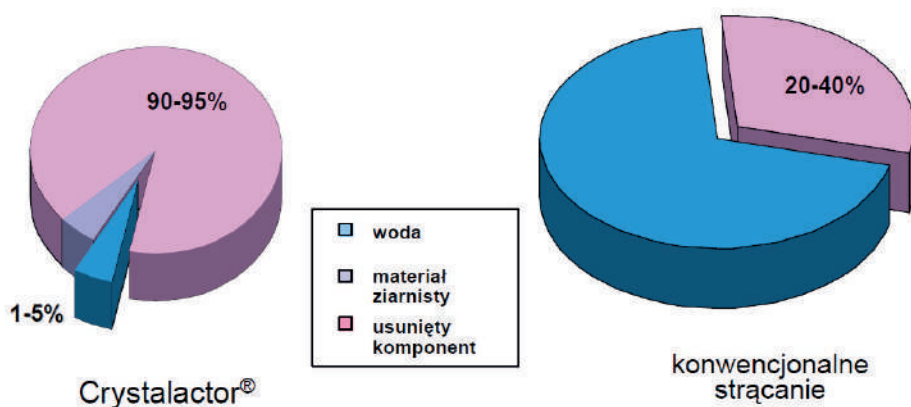
Należy dodać, że instalacje w technologii Crystalactor realizowane są zazwyczaj jako modułowe. Standardowe średnice reaktorów wynoszą: 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5..... 3,5 m. W różnych zastosowaniach powstają kompaktowe instalacje przemysłowe.

Przepustowość instalacji w technologii Crystalactor wynosi zazwyczaj do 100 kg metalu lub anionu na godzinę na jednostkę. Również podczas procesu krystalizacji nie powstają osady, a ponieważ powstające granulki, o wysokim stopniu czystości, mają małą zawartość wody, to instalacje powstają bez wyposażenia do mechanicznego odwadniania. Powyższe powoduje, że gospodarka granulami jest stosunkowo łatwa.

### 22.3. Zastosowania technologii fluidalnej

#### Odzysk metali

Istotnym zastosowaniem technologii fluidalnej jest odzysk metali z wód technologicznych, ze ścieków, ze zużytych katalizatorów i z procesów zintegrowanych.



Rys. 24.4. Charakterystyka powstających granulek i osadów [1]



Rys.22.5. Podstawowa charakterystyka technologii Crystalactor [1]

Istniejące instalacje, w skali pełnej technicznej, obejmują odzysk takich metali jak: Al, Mn, Ni, Fe, Zn, Zr. Przeprowadzono również doświadczenia, w skali pilotowej, nad odzyskiem z wód technologicznych następujących metali: Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mg, Sn, Te, Ni, Pb, V, Zn, Zr. Metale i inne związki odzyskane z sukcesem przedstawiono kolorem żółtym na rys. 22.6. Odzysk metali następuje w formie ich wodorotlenków, węglanów, siarczków i fosforanów.



1 H																	2 He						
3 Li	4 Be	odzyskane z sukcesem																5 B	6 CO <sub>3</sub>	7 NH <sub>4</sub>	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 PO <sub>4</sub>	16 SO <sub>4</sub>	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	57/71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	89/103 Ac-Lr	104 Rf-Ku	105 Ha-Ns	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une															

Rys.22.6. Metale odzyskane za pomocą technologii Crystalactor [1]

Wytworzone metale, w formie granulek, sprzedawane są jako surowiec do dalszej rafinacji i do produkcji metali.

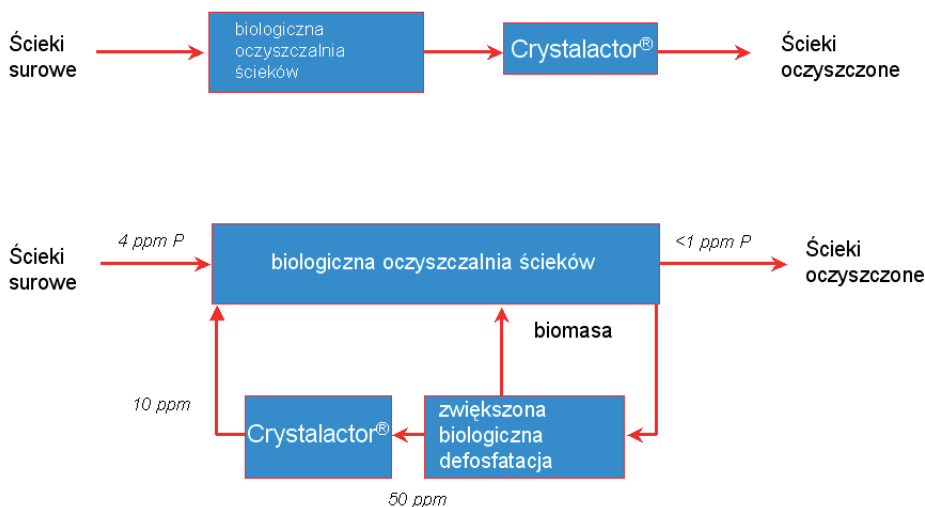
### Zmiękczenie wody technologicznej

Technologia fluidalna może mieć zastosowanie do zmiękczenia wody technologicznej. Okazała się również przydatna jako proces wstępnego uzdatniania wody przed wymianą jonową i filtracją membranową. Podczas tego zastosowania powyższej technologii następuje produkcja CaCO<sub>3</sub>.

### Usuwanie fosforanów

Technologia fluidalna została zastosowana do usuwania fosforanów ze ścieków. Wdrożenia tej technologii mają zastosowanie na odpływach ścieków z bioreaktorów zarówno tlenowych, jak i beztlenowych. Technologia powyższa znalazła zastosowanie również dla bocznych strumieni ścieków zawierających podwyższone zawartości fosforanów. Istnieje kilka opcji procesowych, z krystalizacją jako: **fosforan wapnia (FW)**, **fosforan magnezu (FM)**, **fosforan amonowo-magnezowy (FAM)** i **fosforan potasowo-magnezowy (FPM)**. Dawkowanie do cieczy preparatów, głównie w formie soli wapnia i magnezu (przykładowo wapna, chlorku wapnia, wodorotlenku magnezu), powoduje, że rozpuszczalność FW, FM, FAM i FPM zostaje przekroczona, a fosforany transformowane są z roztworu wodnego do postaci krystalicznego materiału stałego. Jak stwierdzono powyżej, produktami zachodzących reakcji są: Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>, Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

Sprawność usuwania fosforu w złożu fluidalnym zależy głównie od następujących parametrów procesowych: dawki reagenta i pH procesu, supersaturacji i obciążenia



Rys. 22.7. Schematy zastosowania Crystalactora do usuwania fosforanów [1]

hydraulicznego złoża. Odpływ ze złoża fluidalnego zawiera rozpuszczone fosforany i zamieszczone mikrokryształy z procesu nukleacji. Nukleacja jest efektywnie minimalizowana poprzez szczególną konstrukcję złoża fluidalnego i zastosowanie odpowiedniego stopnia supersaturacji. Stężenie rozpuszczonych fosforanów jest ustalone przy uwzględnieniu stopnia rozpuszczalności, jonowego stężenia reagenta i pH procesu. Oznacza to, że pożądane stężenie odpływu może być otrzymane przez odpowiednie dobranie pH i dawki reagenta. W praktyce, przy optymalnym pH procesu, stosuje się dawkę reagenta w wysokości 0,5-5,0 mmol/m<sup>3</sup>.

Podstawowe schematy z zastosowaniem reaktora typu Crystalactor do usuwania fosforanów przedstawiono na rys. 22.7. Powstające granulki są wykorzystywane na potrzeby przemysłu fosforanowego, jak też do technicznej produkcji fosforu.

### Usuwanie fluorków

Usuwanie/ odzysk fluorków, za pomocą technologii fluidalnej, może być zastosowane w praktyce z odpływów ze skrubców, ze ścieków z produkcji barwników i produkcji półprzewodników, jak i ze ścieków z produkcji drukarskiej. Istotnym jest przy tym wpływ pH, bowiem przy niskim pH następuje selektywne usuwanie fluoru, a przy wyższym pH występuje równoczesna krystalizacja z PO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> i metalami ciężkimi. W tabelicy 22.2 przedstawiono przykładowe koszty eksploatacyjne dla usuwania fluorków za pomocą strącania konwencjonalnego i technologii Crystalactor z krystalizacją granul, wskazujące na znaczne oszczędności przy zastosowaniu tej ostatniej.



Tablica 22. 2. Przykładowe koszty eksploatacyjne dla usuwania fluorków

Składnik	Konwencjonalne strącanie		Krystalizacja granul	
		USD		USD
Utrzymanie		6 000		6 000
Praca	2 h/d	10 000	1 h/d	5 000
Energia elektryczna	17,5 MWh	2 000	52 MWh	6 000
Materiał ziarnisty			10 ton	1 000
Zagosp. odpadów	766 ton	230 000		
Zagosp. granul			220 ton	40 000
Reagenty	220 ton	66 000	220 ton	66 000
Flokulanty	1,3 ton	7 000		
Razem		321 000		44 000

## 21.4. Przykłady zastosowania technologii

### Zastosowanie do odzysku metali

Francja – technologię Crystalactor zastosowano w zakładach chemicznych Schell Berre do odzysku katalizatorów z produkcji polimerów. W procesie zintegrowanym następuje odzysk niklu oraz aluminium. Instalację, w skali pełnej technicznej, wykonano „pod klucz”, a wytworzone granulki odzyskanych metali przekazywane są do ponownego wykorzystania w przemyśle obróbki metali.

**Holandia** – w zakładach galwanizerskich Chroommerk w Kerkrade zastosowano technologię Crystalactor do odzysku niklu. Stężenie niklu w dopływie do reaktora, w wysokości 1 000 mg Ni/dm<sup>3</sup>, zredukowano do wysokości poniżej 1,0 mg Ni/dm<sup>3</sup>. Wytworzone granulki tego metalu zawracane są bezpośrednio do wanien galwanizerskich. W zakładach chemicznych AKZO Chemicals zastosowano Crystalactor o średnicy 0,8 m do odzysku Zn, Ni, Te.

### Zastosowanie do zmiękczenia wody

**Holandia** – technologię Crystalactor zastosowano w Amsterdamie do zmiękczenia wody do picia (rys. 22.8). Instalacja w skali technicznej składa się z 10 reaktorów, w postaci złożeń fluidalnych, o przepustowości 204 000 m<sup>3</sup>/d. Wytworzone granulki wykorzystywane są w hodowli zwierząt.

**Australia** – na stacji uzdatniania wody (SUW) Neerabub w mieście Peth, wybudowane zostało złożenie fluidalne o przepustowości 120 000 m<sup>3</sup>/d. Inwestycja, zrealizowana w systemie „zaprojektuj i zbuduj”, przyniosła obniżenie kosztów inwestycyjnych i zmniejszenie zużycia chemikaliów.



Rys.22.8. Instalacja w Amsterdamie



Rys.22.9. Instalacja w Dejtar

**Węgry** – instalacja, w formie złoża fluidalnego, została włączona w układ technologiczny stacji uzdatniania wody (SUW) w miejscowości Dejtar (rys. 22.9). Złoże fluidalne posiada przepustowość 7 680 m<sup>3</sup>/d.

**Tajwan** – technologię Crystalactor zastosowano do zmiękczenia wody powierzchniowej ujmowanej z jeziora Chen Chin. Wybudowano 8 betonowych złóż fluidalnych o przekroju 4,8 x 4,8 m i przepustowości 450 000 m<sup>3</sup>/d. Natomiast, w firmie TWSC& Tong Hsin Water Business, do zmiękczenia wody zastosowano 6 betonowych złóż fluidalnych. Przepustowość instalacji wynosi 800 000 m<sup>3</sup>/d (450 000 m<sup>3</sup>/d na potrzeby przemysłowe, a 350 000 m<sup>3</sup>/d na potrzeby bytowo-gospodarcze).

### Zastosowanie do usuwania fosforanów

**Holandia** – pierwsze wdrożenia technologii fluidalnej do usuwania fosforanów, w skali pełnej techniczne, nastąpiło już w 1988 roku na komunalnej oczyszczalni ścieków w Westerbork. Fosforany usuwane są za pomocą krystalizacji fosforanu wapnia na złożu fluidalnym. Stężenie fosforanów w wysokości 10 mg P/dm<sup>3</sup>, zredukowane jest do wysokości 0,5 mg P/dm<sup>3</sup>, a wytworzone granulki wykorzystywane są w przemyśle fosforanowym.

Wprowadzenie detergentów bez fosforanowych spowodowało znaczne obniżenie wysokości stężenia fosforanów w holenderskich ściekach komunalnych. W związku z powyższym, biologiczne oczyszczanie ścieków zastosowano do

„zagęszczania” fosforanów, a następnie do odzyskiwania fosforanów za pomocą technologii Crystalactor. Powyższy sposób wdrożono z powodzeniem na komunalnych oczyszczalniach ścieków, w takich jak Geestmerambach – rys.22.10 (230 tys. RLM) oraz w Heemstede (35 tys. RLM).

Holenderskie zakłady przeróbki kartofli (Dutch Potato Processing), które oczyszczają ścieki za pomocą beztlenowego reaktora biologicznego, zastosowały technologię Crystalactor w pełnej skali technicznej. Roztwory  $MgCl_2$  i  $NaOH$  dodawane są do odpływu ścieków z reaktora beztlenowego, a w złożu fluidalnym tworzą się kryształki fosforanu amonowo-magnezowego.

**USA** – usuwanie fosforanów ze ścieków mleczarskich za pomocą technologii Crystalactor zastosowano w firmie Alto Dairy Cooperation w mieście Waupun, Wisconsin, która produkuje sery, serwatkę i inne produkty mleczne. Wdrożenia powyższej technologii dokonała firma Procorp Inc., będąca licencjobiorcą technologii. Zastosowane złożo fluidalne, o średnicy 3,0 m, wypełnione zostało piaskiem kwarcowym. Natężenie dopływu ścieków, oczyszczanych uprzednio metodą osadu czynnego, do złoża fluidalnego wynosi 3 000  $m^3/d$ . Dodanie wapna powoduje, że fosforan wapnia krystalizuje się na cząsteczkach piasku kwarcowego. Stężenie odpływu ze złoża fluidalnego wynosi nawet poniżej 3  $mg P/m^3$ . Powstałe granulki są gotowe do recykulacji.

### Zastosowanie do odzysku fluorków

**Japonia** – licencjonawcą technologii Crystalactor została japońska firma Organic Corporation, która nadała tej technologii nową nazwę – EcoCysta. Pierwsze zastosowanie tej technologii do odzysku fluorków zrealizowano w firmie Ricoh, produkującej mikrochipy do komputerów do gier. Stosowanie  $HF$ ,  $NH_4F$  i  $H_3PO_4$  do wytrawiania w procesach produkcyjnych powoduje, że powstające ścieki zawierają fluorki. Typowe ścieki z takiej produkcji zawierają fluorki o stężeniu w wysokości nawet do 10 000  $mg F/dm^3$  oraz inne kwasy, przykładowo  $H_3PO_4$ . Do oczyszczania ścieków zastosowano reaktor ze złożem fluidalnym o średnicy 1,0 m i firma Organo Corporation zastosowała technologię w fabryce Epson, która produkuje drukarki komputerowe, skanery i cyfrowe aparaty fotograficzne. Do oczyszczania powstających ścieków kwaśnych, o natężeniu przepływu w wysokości 43,2  $m^3/d$ , zastosowano złożo fluidalne o średnicy 0,6 m i wysokości 5 m. Ścieki, których stężenie wynosi 500  $mgF/dm^3$ , pod dopływem do reaktora fluidalnego neutralizowane są za pomocą wapna. Wapno reaguje z fluorkami zawartymi w ściekach i krystalizuje się na piasku kwarcowym jako  $CaF_2$ . Stężenie fluorków w oczyszczonych ściekach wynosi poniżej 15  $mg F/dm^3$ . W znacznym stopniu usuwany jest także fosfor.

**Niemcy** – pierwszym zakładem produkującym panele solarne, który zastosował technologię Crystalactor do usuwania fluorków ze ścieków, była firma Shell



Rys. 22.10. Instalacja w Geestmerambach

Solar. Reaktor, oparty o złożę fluidalne o średnicy 0,6 m, redukuje stężenie wynoszące  $900 \text{ mgF/dm}^3$  w ściekach dopływających do stężenia poniżej  $30 \text{ mg F/dm}^3$  w odpływie. Instalacja została wybudowana „pod klucz”.

**Tajwan** – odzysk fluorków ze ścieków powstających w przemyśle drukarskim nastąpił w firmie Du Pont (rys, 22.11). Zastosowane złożę fluidalne, o średnicy 1,0 m, redukuje stężenie fluorków w dopływie w wysokości  $700 \text{ mg F/dm}^3$  do stężenia poniżej  $10 \text{ mgF/dm}^3$  w odpływie. Technologia Crystalactor zastosowana w zakładach MEMT (rys. 22.12) pozwala na usuwanie fluorków ze ścieków na złożu fluidalnym o średnicy 1,0 m. Stężenie fluorków w dopływie, w wysokości  $500\text{-}4000 \text{ mg F/dm}^3$ , zredukowane jest do stężenia poniżej  $15 \text{ mg F/dm}^3$  w odpływie.

Inny przykład zastosowania technologii Crystalactor do odzysku fluorków stanowi rafinacja cynku. Złożę fluidalne, o średnicy 2,5 m, redukuje stężenie fluorków w dopływie w wysokości  $800 \text{ mg F/dm}^3$  do stężenia  $60 \text{ mg F/dm}^3$  w odpływie. Odpływ ścieków ze skrubierów zawiera również wysokie stężenia  $\text{SO}_4$ , Zn, As, Se. Dlatego odzysk fluorków jest zintegrowany z usuwaniem As i biologiczną redukcją  $\text{SO}_4$ .





Rys.22.11. Instalacja Du Pont



Rys.22.12. Instalacja MEMT

## 22.5. Rozwiązania alternatywne

Metale takie jak między innymi Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn stanowią niebezpieczną grupę zanieczyszczeń i stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi i życia organizmów wodnych, szczególnie z uwagi na ich toksyczność i zdolność do bioakumulacji. W tym temacie, jak i w zakresie ich usuwania z wody i ścieków istnieje bogate piśmiennictwo, w tym szereg książek. Powyższa tematyka była też przedmiotem wielu specjalistycznych konferencji i sympozjów międzynarodowych i krajowych. Jednakże, w przypadku usuwania metali z wody i ścieków większość piśmiennictwa ukierunkowana jest na konkretne przemysły, szczególnie na przemysły metalurgiczne. W tym zakresie można wymienić przykładowe pozycje piśmiennictwa krajowego, takie jak: materiały konferencyjne IAWPRC [2], które przedstawiają szereg technologii stosowanych w Polsce do usuwania metali z wód i ścieków, pochodzących głównie z przemysłu obróbki metali, natomiast w monografii [3], w tematyce usuwania metali, uwzględniono oprócz ścieków również osady ściekowe.

Do usuwania metali z wód i ścieków stosowanych wiele różnych technologii i procesów konwencjonalnych o charakterze fizycznym i chemicznym, do których zalicza się: filtrację, chemiczne wytrącanie, koagulację wapnem, metody elektrochemiczne, odwróconą osmozę, wymianę jonową, odparowanie. Metody te okazały się w określonych zastosowaniach skuteczne, ale też często w praktyce wykazują

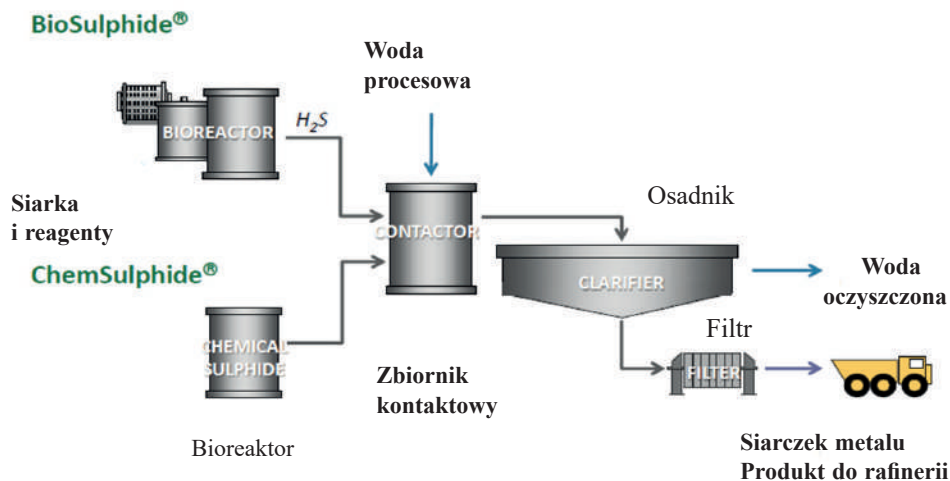
szereg wad, w tym powodują powstawanie toksycznych odpadów (np. chemiczne strącanie), wymagają dużych ilości energii (np. odparowanie), powodują problemy eksploatacyjne, generują wysokie koszty. Istnieją też alternatywne metody strącaniowe, przykładowo technologia Sulfex, która polega na wytrącaniu metali z wód i ścieków w postaci siarczków, których rozpuszczalność jest znacznie mniejsza niż wodorotlenków. Występują odmiany tej technologii, które polegają na dodawaniu siarczków rozpuszczalnych (przykładowo  $\text{Na}_2\text{S}$  lub  $\text{NaHS}$ ) lub na dodawaniu siarczku żelazawego ( $\text{FeS}$ ). W procesie Sulfex, występuje stosunkowo duże zużycie reagentów i wytwarzane są większe ilości osadów niż w konwencjonalnym procesie wytrącania. Technologia Sulfex opracowała amerykańska firma Permutit Company.

Istnieją również inne nowsze rozwiązania do usuwania/odzysku metali oparte o strącanie siarczkowe, takie jak technologia ChemSulphide i technologia BioSulphide (rys. 22.13), opracowane przez kanadyjską firmę BioteQ Environmental Technologies Inc., która wdraża te technologie w kopalniach rud metali. Przykładem takiego zastosowania, było podpisanie kontraktu na budowę instalacji przez firmę BioteQ Environmental Technologies Inc. z Jangxi Copper Corporation – największą firmą wydobywczą miedzi w Chinach na zaprojektowanie i wybudowanie trzeciej instalacji do odzysku miedzi z wód poprocesowych z kopalni miedzi w Yinshan. Instalację o natężeniu przepływu  $17\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ , zlokalizowano 30 km od Dexing, oparto o technologię ChemSulphide.

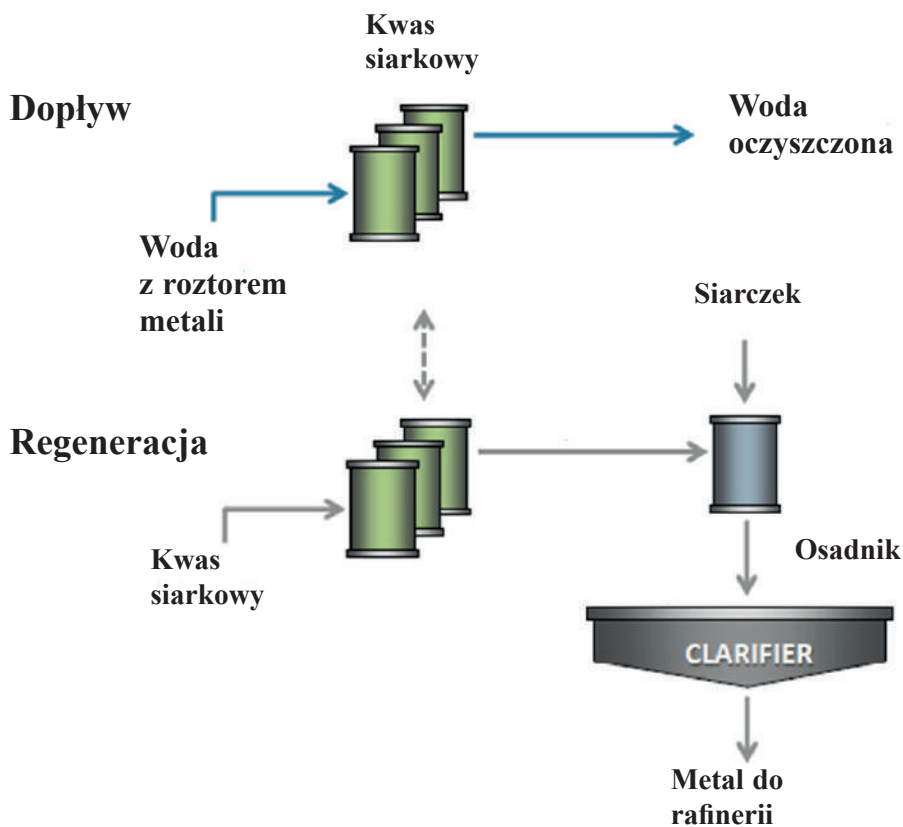
Powstają nowe rozwiązania, w tym technologie hybrydowe, które mogą zwiększać efektywność zastosowanych konwencjonalnych procesów fizycznych oraz chemicznych, jak też zmniejszać, lub nawet eliminować, ich niektóre wady. Przykładem takiej technologii jest rozwiązanie pod nazwą Krevox-Flock, która przyspiesza usuwanie nie tylko związków koloidowych ale też trudno opadającej zawiesiny. Dzięki zastosowaniu magnetytu, jako substancji balastowej, udaje się uzyskać znacznie szybszą flokulację powstających kłaczków osadu. Obciążone kłaczkami opadają znacznie szybciej, a w separatorze magnetycznym następuje odzyskanie magnetytu, który zwracany jest do komory reakcji.

Natomiast biotechnologia BioSulphide jest oparta o wysokosprawny biologiczny proces beztlenowy z zastosowaniem  $\text{H}_2\text{S}$  do strącania/odzyskiwania metali z wód kopalnianych.

Została zastosowana w USA do odzysku miedzi z wód kopalnianych. Biotechnologie stanowią pewną alternatywę dla konwencjonalnych technologii fizycznych i chemicznych [4]. Szczególnie istotną jest biosorpcja, która związana jest z procesami biologicznymi, w których biomasa sorbuje metale i inne zanieczyszczenia z roztworów wodnych. Biomasa mikroorganizmów może występować w postaci żywych komórek lub nawet martwej (przykładowo jako organiczne



Rys. 22.13. Schemat technologii BioSulphide/ ChemSulphide



Rys. 22.14. Uzupełnienie technologii ChemSulphide o wymianę jonową

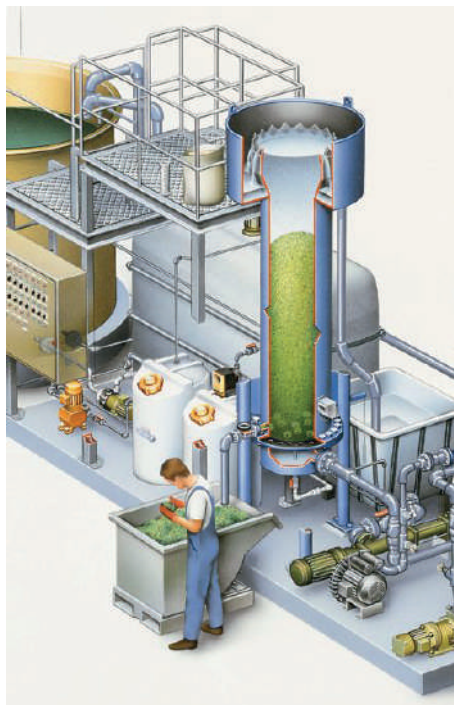


sorbenty naturalne) [8]. W metodzie biosorpcji, zastosowanej do usuwania metali z wód i ścieków, następuje zagęszczanie metali na powierzchni mikroorganizmów, a następnie regeneracja biomasy i usuwanie metali z odcieków. Usuwanie/odzyskiwanie metali z wód i ścieków za pomoc biomasy zależy od procesu biosorpcji metali w wyniku przemian niezależnych jak i zależnych od metabolizmu komórkowego, przy czym proces ten zachodzi zazwyczaj bardzo szybko.

Proces biosorpcji jest również efektywny, bowiem wydajność usuwania metali z wód przemysłowych przekracza zazwyczaj 90%. Zdolności sorpcyjne biomasy mogą być nawet zwiększane za pomocą jej chemicznej modyfikacji. W osadzie czynnym metale wiązane są znacznie efektywniej w osadzie niż przez pojedyncze gatunki bakterii, a wiązanie to zachodzi głównie za pomocą mechanizmu chemisorpcji. Wiązanie metali przez mikroorganizmy związane jest jednak z dużymi kosztami oddzielania biomasy od cieczy. Ponieważ wybrane mikroorganizmy mogą być również zastosowane do bioługowania metali z osadów, a nawet z różnego typu rud metali, to powstało szereg technik hydromechanicznych wspomaganych procesy bioługowania. Związane jest to między innymi z przekształceniem nierozpuszczalnych siarczków w siarczany i powstawaniem kwasu siarkowego, co powoduje obniżenie pH i sprzyja wymywaniu metali. Metale mogą być też bioługowane za pomocą takich metod jak przykładowo bioługowanie elektrochemicznego, biometylacja i inne.

## **22.6. Podsumowanie**

W rozdziale przedstawiono wybrane technologie do odzysku metali i innych zanieczyszczeń z wód technologicznych. Przykładowa technologia – Crystalactor wykorzystuje proces krystalizacji, zachodzący w złożu fluidalnym. Usuwa metale i fosforany, fluorki, siarczany i inne, a nawet zmiękcza wodę i umożliwia odzysk/wytwarzanie cennych produktów, zamiast odpadów. Produkty mają zazwyczaj postać granulek o wysokim stopniu czystości, w zasadzie pozbawionych wody, które gotowe są do ich łatwego wykorzystywania. Odzysk surowców, dla ich recyklingu, możliwy jest bez stosowania urządzeń do mechanicznego odwadniania. Zaletą technologii jest możliwość budowy kompaktowych urządzeń w formie rozwiązań modułowych,. Istnieją potencjalne możliwości do zastosowania tej technologii w przemyśle metalurgicznym, jak również pewne przesłanki do sprawdzenia możliwości zastosowania w przemyśle wydobywczym rud metali, w tym rud miedzi. Istnieją za granicą instalacje, w skali pełnej technicznej, do usuwania/odzysku metali z wód procesowych pochodzących z kopalni rud miedzi, stanowiące alternatywę do powyższej technologii. Są to rozwiązania technologiczne kanadyjskiej firmy BioteQ Environmental Technologies, takie jak ChemSulphide czy BioSulphide.



Rys.22.15. Przykładowe rozwiązanie stacji pilotowej

Technologia – ChemSulphide z wymianą jonową (rys.22.14) jest rozwiązaniem innowacyjnym w stosunku do rozwiązań konwencjonalnych, a technologia BioSulphide stanowi rozwiązanie technologiczne oparte o biotechnologię, natomiast w zakresie konwencjonalnych rozwiązań innowacyjnych istnieje przykładowo rozwiązanie Krevox-Flock do usuwania różnych form zanieczyszczeń, w tym z wód produkcyjnych [6]. Dla sprawdzenia możliwości zastosowania wybranej technologii do praktycznego usuwania/odzysku metali i innych zanieczyszczeń z wód procesowych, tak jak w każdym innym zastosowaniu, winny być podjęte badania technologiczne, przeprowadzone na instalacji w skali pilotowej (rys.22.15), zaprojektowanej dla warunków konkretnego wdrożenia.

## Bibliografia

1. Giesen A.: P-recovery with the Crystalactor – efficient waste water treatment without waste. DHV. The Netherlands 2009.
2. Gromiec M.J. (red.): Usuwanie metali ciężkich z wody i ścieków. Materiały sympozjum. Polski Komitet ds. IAWPRC, Warszawa 1988.
3. Łebkowska M., Karwowska E.: Usuwanie metali ciężkich ze ścieków i osadów ściekowych. Monografie, Seria Wodociągi i Kanalizacja. PZITS, Warszawa 2003.
4. Klimiuk E., Łebkowska M.: Biotechnologia w ochronie środowiska. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2004.
5. Karwowska E.: Mikrobiologiczne procesy usuwania metali ze ścieków i szlamów galwanicznych. Prace Naukowe, Inżynieria Środowiska z. 51. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2007.
6. Materiały udostępnione przez firmę DHV na temat technologii Crystalactor, materiały firmy Biotem Environmental Technologies na temat technologii ChemSulphide and BioSulphide i firmy Krevox ECE na temat technologii Krevox Flock.

## **23. Niedobory wody i susze w polityce wodnej Unii Europejskiej**

Skutki zmian klimatycznych w zakresie zasobów wodnych to głównie zmiany: cyklu hydrologicznego, zaopatrzenia na wodę, wykorzystania wody, jakości zasobów wodnych, jak też wzrost zjawisk nadzwyczajnych związanych z powodziami i suszami. W wielu regionach świata zapotrzebowanie na wodę przekracza zasoby wodne, na co wpływa również zanieczyszczenie wód. Istotną rolę w niedoborach wody odgrywiają susze, które mogą potęgować się poprzez zmiany klimatu. Zachodzące zmiany klimatu powodują między innymi globalne zwiększone występowanie intensywnych powodzi i susz, co prowadzi zarówno do nadmiaru jak i niedoboru wody, o których decyduje wysokość opadu, będącego istotą zmienną hydrologiczną. Na cykl hydrologiczny wpływa rosnąca antropopresja, która doprowadziła do wielu kumulujących się szkodliwych efektów, a jej skutki zwiększają zachodzące przemiany demograficzne. Dodatkowo, globalne potrzeby wodne intensyfikują się znacznie szybciej niż wzrasta liczba ludności. Zwiększa się również proces urbanizacji, następuje wylesienie, naruszenie ciągłości gleby, powodując wzrost spływów powierzchniowych i erozję. Zmniejsza się możliwość retencji, to jest możliwość zatrzymania wody. Na tle problemów zaspakajania racjonalnych potrzeb ludności i gospodarki, jak i przeciwdziałania skutkom suszy, integracja planów gospodarowania wodami w dorzeczach z planami zarządzania ryzykiem wystąpienia suszy stała się koniecznością.

### **23.1. Susze i niedobory wody**

Poniżej rozważano przede wszystkim niedobory wody związane z suszą, w aspektach hydrologicznych i społeczno-ekonomicznych. Susze stanowią zjawiska klimatyczne występujące powszechnie, są też pewną anomalią klimatyczną związaną z długim utrzymywaniem się pogody bezdeszczowej. Powszechnie przyjmuje się, że susze oznaczające niedobory wody lub braki wody, powodują szkody w środowisku i gospodarce, jak też szereg uciążliwości i zagrożeń dla ludności. Pod względem prawnym susze określono jako katastrofę naturalną, która może eskalować aż do klęski. Powszechnie przyjęta definicja suszy, pod względem naukowym, nastęrcza pewne trudności. IMGW – PIB uznał, że susza jest zjawiskiem ciągłym o zasięgu regionalnym i oznacza dostępność wody poniżej średniej w określonych warunkach naturalnych, przy czym są to nie tylko zjawiska ekstremalne, ale wszystkie, które występują w mniejszej dostępności wody. W Polsce rozróżnia się praktycznie cztery rodzaje susz: atmosferyczną, rolniczą, hydrologiczną i hydrogeologiczną.

W USA wyróżnia się również cztery następujące rodzaje susz:

- susza meteorologiczna – okres trwający od miesięcy do lat, w którym dopływ wilgoci do danego obszaru spada poniżej stanu normalnej wilgoci w danych warunkach klimatycznych;
- susza rolnicza – okres, w którym wilgotność gleby jest niedostateczna do zaspokojenia potrzeb wodnych roślin lub występuje deficyt wody dla inwentarza i prowadzenia normalnej gospodarki w rolnictwie;
- susza hydrologiczna – okres, gdy przepływy w rzekach spadają poniżej granicy średniego, a gdy przedłuża się susza meteorologiczna to następuje znaczne obniżenie się wód podziemnych.
- susza gospodarcza – będąca skutkiem procesów ekonomicznych w obszarach działalności człowieka dotkniętego suszą.

Z powyższego wynika, że susza meteorologiczna może być impulsem do rozwoju suszy hydrologicznej. Przedłużający się niedostatek opadów prowadzi do suszy glebowej, a niedostatek wilgoci gleby powoduje straty gospodarcze, szczególnie w rolnictwie. Należy podkreślić, że susze powodują nie tylko straty ekonomiczne, ale również społeczne i środowiskowe. Gospodarcze konsekwencje susz obejmują nie tylko rolnictwo, ale również inne sektory, między innymi gospodarkę komunalną, energetykę wodną, budownictwo, przemysł, żeglugę. Susze i niedobory wody wpływają na różne sfery życia człowieka. Szczególnie dotkliwie są dla człowieka trudności związane z zaopatrzeniem w wodę, zwiększonym zapotrzebowaniem na energię, z uwagi na ciągłą pracę urządzeń. Susze sprzyjają pożarom, szczególnie lasów. Ważnym aspektem jest, że susze swoim zasięgiem, mogą obejmować kontynenty, regiony (obejmujące kilka zlewni), jak też obszary pojedynczych zlewni.

### **23.2. Problem niedoborów wody i susz w dokumentach unijnych**

Ważnym elementem polityki wodnej w państwach Unii Europejskiej, stały się sposoby rozwiązywania problemów niedoborów wody i możliwości zwiększenia efektywności zużycia wody w różnych sektorach. Komisja Europejska wydała w zakresie niedoborów wody i susz szereg istotnych dokumentów, przykładowo [1], [2], [3].

W powyższym zakresie, Komisja Europejska wydała w 2012 roku, komunikat [2], w którym dokonała oceny dotychczasowej polityki wodnej, co było między innymi związane ze stosunkowo słabym uwzględnianiem wpływu zmian klimatycznych przez użytkowników zasobów wodnych. Należy podkreślić, że w latach 1976 – 2006 całkowite koszty związane z suszami wyniosły 100 mld euro. W tym okresie, liczba ludzi i obszarów wzrosła o około 20%. Modele prognostyczne

wskazują, że w 2030 roku liczba dorzeczy z niedoborami wody może wzrosnąć o 50%. Komisja Europejska zwróciła uwagę, że:

- susze i niedobory wody powodują nie tylko straty ekonomiczne w sektorach związanych z wodą, ale również mogą mieć skutki dla środowiska, w zakresie: bioróżnorodności biologicznej, jakości wody, zanikania terenów podmokłych, erozji gleby i pustynnienia,
- głównym celem działań związanych z niedoborami wody i suszami jest przywrócenie bilansu wodnego we wszystkich dorzeczach, przy pełnym uwzględnieniu zapotrzebowania na wodę ekosystemów wodnych,
- w pierwszej kolejności należy się zająć zarządzaniem związanym z zaopatrzeniem w wodę, a alternatywne warianty zaopatrzenia w wodę rozważyć dopiero po wyczerpaniu oszczędnego gospodarowania wodą.

Dlatego hierarchia rozwiązywania problemów związanych z wodą winna wykorzystać pełny potencjał środków oszczędzania wody przed tworzeniem dodatkowej infrastruktury wodociągowej. Powyższe powinno uwzględnić co następuje:

- promowanie technologii i praktyk umożliwiających oszczędne gospodarowanie wodą,
- uwzględnienie środków na niedobory wody i susze w planach gospodarowania wodą w dorzeczach,
- zlikwidowanie luk wstępujących w polityce wodnej związanej z niedoborami wodnymi i suszami (koncepcje, informatyzacja, zarządzanie).

Do narzędzi mających znaczenie dla poprawy zarządzania gospodarowaniem ilością wody zaliczono:

- określanie i wdrażanie koncepcji tzw. przepływów nienaruszalnych,
- określanie i wdrażanie celów oszczędnego gospodarowania wodą we wszystkich sektorach zużywających wodę,
- promowanie zachęt ekonomicznych do oszczędnego gospodarowania wodą,
- wprowadzanie sposobów użytkowania gruntów, które sprzyjają rozwiązaniu problemów niedoboru wody,
- stosowanie ulepszonego sposobu zarządzania ryzykiem wystąpienia suszy,
- wspieranie zwiększenia „odporności” na zmiany klimatu.

Należy dodać, że wcześniej przyjęty Kompleksowy kodeks międzynarodowego prawa wodnego, przez Konfederację Stowarzyszenia Prawa Wodnego w dniu 21 sierpnia 2004 roku w Berlinie, odniósł się również do zagadnienia suszy. W kodeksie (art. 35) stwierdzono, że współpraca między państwami dla zapobiegania, kontroli lub łagodzenia suszy powinna między innymi obejmować:

- zintegrowana strategię z fizycznymi biologicznymi i społeczno-ekonomicznymi aspektami suszy,

- zintegrowaną strategię łagodzenia susz i przechodzenia do zintegrowanego użytkownika wód,
- wprowadzenie lub wzmocnienie niezbędnego ustawodawstwa i instytucji właściwych do osiągnięcia celów,
- zapewnienie odpowiednich funduszy dla osiągnięcia celów, zgodnie z istniejącymi warunkami i możliwościami.

Do głównych użytkowników zasobów wodnych należą takie sektory jak: gospodarka komunalna, przemysł, w tym energetyka, jak też rolnictwo. Wzrost zapotrzebowania na wodę w rolnictwie występuje z uwagi na rosnącą presję na zasoby wodne związane z suszami, jak też z popytem na rośliny energetyczne. W ostatnich kilkudziesięciu latach, susze i niedobory wody zwiększały się pod względem liczby i intensywności w wielu państwach UE. Dlatego w komunikacie na temat niedoborów wody i suszy, Komisja Europejska określiła zestaw strategii, które winny być przyjęte na poziomach państw i regionów. Niedobory wody na danym obszarze określone zostały jako „niewystarczające zasoby wody aby zaspokoić długoterminowe średnie zapotrzebowanie na wodę”. Niedobory wody odnoszą się zatem do długoterminowego niezbilansowanej ilości wody, łączącego niski poziom zapotrzebowania na wodę przekraczający pojemność systemu naturalnego. Celem wskazanej strategii było wprowadzenie takiej realizacji gospodarki wodnej, która będzie oparta o efektywne i oszczędne gospodarowanie wodą, poprzez poprawę sterowania zapotrzebowania na wodę.

Za podstawową opcję strategiczną uznano ustalenie właściwej ceny za wodę. Problem ceny za wodę znajduje odzwierciedlenie w innym ważnym dokumencie – RDW, przyjętej przez Parlament Europejski i Radę EU w dniu 22 października 2000 roku, która została oparta o założenie, że wskazane jest zastosowanie instrumentów ekonomicznych związanych z programami działań. Dyrektywa ustanowiła podstawy finansowania oparte na zasadzie „zanieczyszczający płaci” oraz na zasadzie „zwrotu kosztów za usługi wodne”, włączając w to koszty środowiskowe i zasobowe. W tym zakresie, dyrektywa wymaga, żeby wprowadzone zostały, w państwach członkowskich UE, systemy opłat za wodę, które dostarczą użytkownikowi bodźców, aby zasoby wodne były wykorzystywane efektywnie. Przy realizacji zasady „zwrotu kosztów usług wodnych” winien być zapewniony odpowiedni wkład wniesiony przez różnych użytkowników, podzielonych przynajmniej na trzy kategorie: gospodarka komunalna, przemysł i rolnictwo. W Polsce, powyższy system finansowania gospodarki wodnej został zapoczątkowany przez nową ustawę Prawo wodne z 2017 roku [4], gdzie został wprowadzony, chociaż w ograniczonym zakresie. Warto dodać, że w dniu 14 września 2011 roku w Warszawie odbyła się konferencja międzynarodowa pt. „Opłaty za wodę w rolnictwie: na drodze do sprawiedliwej i efektywnej polityki w Europie”, zorganizowana przez



UE w ramach prezydenci RP. Sprawa pełnej realizacji zasady „zwrotu kosztów za usługi wodne”, a szczególnie ustalenia cen wody rolnictwie w Polsce i innych państwach członkowskich, wzbudziła kontrowersje i uznano, że winna być wnikliwie przeanalizowana.

### 23.3. Zakres możliwych rozwiązań

Badania i analizy występowania niedoborów wody i suszy w Polsce wskazują na pewną intensyfikację tych zjawisk z upływem czasu. Dlatego prognozy przyszłego zapotrzebowania na wodę społeczeństwa i gospodarki, w tym rolnictwa, winny uwzględniać deficyty związane ze skutkami suszy. Należy podjąć szereg działań ochrony przed suszą, szczególnie o charakterze zapobiegawczym. Opcje rozwiązań, według komunikatu Komisji Europejskiej dotyczącego niedoborów wody i susz obejmują:

- ustalenie odpowiedniej ceny dla wody.
- bardziej efektywna alokacja środków na rozwiązywanie problemów wodnych,
- realizacja budowy dodatkowej infrastruktury wodnej,
- wprowadzenie efektywnych technologii praktyk wodnych,
- podnoszenie świadomości wodnej w społeczeństwie,
- zwiększenie wiedzy na temat niedoborów wody i susz oraz zbierania danych w tym zakresie, szczególnie o charakterze społecznym i gospodarczym.

W zakresie rolnictwa, uznano za celowe podjęcie szeregu działań związanych z ograniczeniem przyszłych zagrożeń związanych z niedoborem wody i suszami, w szczególności:

- opracowanie strategii dotyczącej gospodarowania wodą w rolnictwie, uwzględniającej m.in. scenariusze zmian klimatu,
- dokonanie oceny potrzeb nawodnień upraw polowych, sadowniczych i roślin przemysłowych, w zależności od powyższych scenariuszy,
- dokonanie oceny wpływu wzrostu biomasy, związanej z produkcją energii odnawialnej, na stosunki wodne,
- prowadzenie prac nad odmianami roślin uprawnych odpornych na stres wodny i o niższych wymaganiach wodnych oraz nad ich wprowadzeniem w praktykę,
- propagowanie efektywnych metod nawodnień i technik wodo-oszczędnych.

Z niedoborami wody związana jest również odnowa wody ze ścieków. Komisja Europejska wydała w dniu 28.05.2018 roku wniosek Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody [5]. Ogólnym celem wniosku jest: **„przyczynienie się do zmniejszenia niedoboru wody w całej UE, w ramach się przystosowania do zmiany klimatu, przede wszystkim przez zwiększenie wykorzystania**



*wody odzyskiwanej, w szczególności do nawadniania w rolnictwie, zwłaszcza jeżeli jest to właściwe i racjonalne pod względem kosztów, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu ochrony zdrowia publicznego i środowiska”.*

W powyższym wniosku Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody. oszacowano, że proponowane działania mogłyby osiągnąć poziom 6,6 mld m<sup>3</sup> wody do nawadniania w rolnictwie UE. Należy podkreślić, że rozporządzenia stanowią akty prawne UE, które są wiążące i stosowane we wszystkich państwach członkowskich. Wniosek wpisywał się zarówno w światowe trendy odnowy wody, jak i w koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym (gospodarki cyrkulacyjnej) UE, zastosowanej w tym przypadku do najcenniejszego zasobu jakim jest woda.

Państwowa Rada Gospodarki Wodnej (PRGW), w dniu 4 kwietnia 2019 roku, zaopiniowała wniosek rozporządzenia pozytywnie. PRGW i wniosła szereg uwag związanych z zastosowaniem odnowionej wody ze ścieków komunalnych do nawadniania w rolnictwie w Polsce, podkreślając, że skuteczność zapewnienia odpowiedniej jakości odzyskanej wody może wymagać, oprócz klasycznej filtracji i dezynfekcji, również zastosowanie wysokoefektywnych procesów oczyszczania, usuwających przykładowo zanieczyszczenia toksyczne i organizmy patogenne (szczególnie wirusy), takich jak przykładowo: procesy membranowe, proces adsorpcji na węglu aktywnym czy dezynfekcji promieniami UV. W roku 2020, powyższy projekt rozporządzenia, został wydany jako stosowne rozporządzenie [7] (patrz rozdział 24).

#### **23.4. Zasoby wodne oraz krajowe problemy i wyzwania związane z suszą**

Oczywistym jest, że zmiany klimatu i zasoby wodne są od siebie wzajemnie zależne. Wpływ klimatu na zjawiska ekstremalne, takie jak: powódzie i susze, jest dość złożony, tym bardziej, że związany jest z wpływami antropopresji. W Polsce, doświadczyliśmy ekstremalnych powodzi, które spowodowały niezwykle wysokie straty materialne i śmierć ludzi. Powódzie trwały jednak znacznie krócej niż susze. Należy jednak podkreślić, że Polska należy do państw o najuboższych zasobach wodnych w Unii Europejskiej, wynoszących w okresie suszy około 1000 m<sup>3</sup> wody/M rok i poniżej. Pomimo małych ilości zasobów wodnych i postępujących zmian klimatycznych, krajowa gospodarka wodna była szczególnie zaniedbywana i nie doinwestowywana przez wiele lat. W gospodarowaniu wodą na przestrzeni czasu popełniono szereg błędów.

Istotnym wyzwaniem dla zaopatrzenia w wodę są zachodzące zmiany klimatyczne, które potęgują problemy związane z zasobami wodnymi, powodując

niedobory wody, Problem ten został poruszony między innymi na Forum Debaty Publicznej zorganizowanym w 2011 roku przez Kancelarię Prezydenta RP [6]. W 2012 roku, jako wiceprzewodniczący Komitetu Naukowego Zagrożeń w Gospodarce Wodnej przy Prezydium PAN, udzieliłem wywiadu prasie, stwierdzając, że należy zabezpieczyć się, w zakresie prawnym i technicznym, przed suszą, na którą nie jesteśmy przygotowani, a na inwestycje w tym zakresie potrzeba kilkadziesiąt mld PLN.

W nowej ustawie Prawo wodne, która weszła w życie w dniu 1 stycznia 2018 roku, uznano, że zarządzanie wodami służy ochronie wód i środowiska związanego z tymi zasobami, jak również w zakresie ochrony przed powodzią i suszą. Natomiast przeciwdziałanie skutkom suszy prowadzi się zgodnie z planami, aktualizowanymi nie rzadziej niż co sześć lat. Wydaje się, że istniejące zapisy prawne nie są w pełni wystarczające dla efektywnego zapobiegania i łagodzenia skutków suszy i winny być uzupełnione o część praktyczną dotyczącą suszy i niedoborów wody, wraz z przygotowanymi rozporządzeniami wykonawczymi. Założono też, że przygotowujący przez Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (PGW WP) dokument pt. „Plan przeciwdziałania skutkom suszy”, ma przyczynić się do ograniczenia ryzyka i minimalizacji skutków suszy. W 2019 roku, rząd RP przyjął założenia do „Programu przeciwdziałania niedoborowi wody na lata 2021-2027 z perspektywą do roku 2030”, przedłożone przez ministra gospodarki morskiej i żeglugi śródlądowej. W marcu 2020 roku, przygotowano w MG MiŻŚ specjalną ustawę o suszy (tzw. specustawę), która ma usprawnić proces przeprowadzania inwestycji poprawiających bilans wodny.

Rozwiązanie problemów niedoboru wody i susz znacznie utrudniają powiązane ze sobą, luki: koncepcyjne, informacyjne jak też w zakresie: polityki, zarządzania i realizacji. Szczególnie istotne są luki koncepcyjne, związane z wyborem właściwych celów i realizacją optymalnych rozwiązań. Równocześnie narastają problemy związane z produkcją żywności i energią. Należy podkreślić, że w gospodarce wodnej występują ścisłe współzależności między energią a wodą, realizowane jako: zależność energia – woda (wykorzystuje wodę dla energii), jak też zależność woda – energia (wykorzystuje energię dla wody). Pojawiają się nowe paradygmaty i koncepcje związane z odzyskiem energii i wody oraz innych surowców, przykładowo koncepcja Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, zaproponowana w 2014 roku przez Unię Europejską.

W roku 2018, Komisja Europejska zaproponowała nową dyrektywę w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, która została wydana w grudniu 2020 roku [8]. Zaproponowane zmiany prawa unijnego dla wody do picia są znaczące w wielu kwestiach, zarówno dla administracji państw członkowskich, jak i branży wodociągowej. Konieczna jest analiza wprowadzanych

nowych przepisów i ocena możliwości ich spełnienia. Mogą bowiem narastać różne problemy, w tym spowodowane skażeniami epidemiologicznymi, a obecnie związane są szczególnie z koronawirusem i mogą wymagać wprowadzenia intensywnej dezynfekcji wody/ścieków.

Konieczne stały się rozwiązania i zachęty ekonomiczne dotyczące oszczędnego gospodarowania wodą. Istnieją w tym zakresie duże możliwości we wszystkich sektorach zużywających wodę, dotychczas realizowane głównie przez gospodarkę leśną w zakresie małej retencji. W przypadku pojawienia się długotrwałej suszy, deficyty wody będą występować w dłuższym okresie czasu i mieć znaczące skutki materialne. Wpływy suszy mogą dotknąć nie tylko rolnictwo i hodowlę, ale również zaopatrzenie w wodę ludności, przemysł, budownictwo, energetykę, transport i leśnictwo. Zwiększy się zagrożenie ekosystemów, szczególnie od wody zależnych, jak też wzrosną problemy związane z jakością wody.

Dlatego, konieczne jest zwiększenie możliwości ochrony przed suszami, w tym możliwości adaptacyjnych, jak też przygotowanie się na możliwość wystąpienia długotrwałego zjawiska suszy, tym bardziej, że w Polsce poważne niedobory wody pojawiły się w północno-wschodniej i środkowej Wielkopolsce oraz Kujawach, szybko ogarniając cały kraj. Pewne kierunki działań w tym zakresie wskazano powyżej w dokumentach unijnych i krajowych. Istotny jest dalszy rozwój retencji, aby przechwytywać i magazynować wody deszczowe. W przypadku objęcia suszą dużych regionów, w tym zlewni międzynarodowych, konieczna jest współpraca międzynarodowa. Polska winna również współpracować, z wybranymi państwami w zakresie wodno-oszczędnych technik i technologii, w tym efektywnych technik nawodnień.

Niniejsza praca stanowi część rozdziału, zamieszczonego w raporcie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN [9].

## **Bibliografia**

1. Communication from the Commission to European Parliament and the Council. Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union. European Commission, Brussels 18.7.2007 (COM /2007/ 412 final).
2. Communication from the Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Report on the review of the European water scarcity and droughts policy. European Commission, Brussels 14.11.2012 (COM/2012/ 672 final).
3. Communication from the Commission to European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. European Commission, Brussels 14.11.2012 (COM /2012/ 673 final).
4. Ustawa Prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 roku (Dz.U. z 2017, poz.1566).

5. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse. European Commission, Brussels 28.5.2018 (COM/2018/337 final).
6. Gromiec M.: Niedobory wody związane z suszami – aspekty prawno-ekonomiczne i społeczno-gospodarcze. W: Forum debaty Publicznej, Gospodarka Wodna-rola samorządu terytorialnego i użytkowników gruntów w przeciwdziałaniu podtopieniom i niedoborom wody. Kancelaria Prezydenta RP, Warszawa, 30 listopada 2011, s.22-26.
7. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/741 z dnia 25 maja 2020 r. w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody. Dz. Urz. UE L 177/32, 5.6.2020.
8. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. Urz. UE L 435/1, 23.12.2020.
9. Gromiec M.: Zaopatrzenie w wodę a niedobory wody związane z suszami oraz problemy jakości wody dla ludności spowodowane nowymi formami zanieczyszczeń. W: Gromiec M., Pawłowski L.(red.) Raport: Zanieczyszczenia wód w Polsce, stan, przyczyny, skutki. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska PAN. Monografia nr 164, Lublin 2019.

## 24. Odzysk wody ze ścieków

Woda uzyskana ze ścieków może być wykorzystywana do różnych celów, a nie tylko bezproduktywnie odprowadzana do odbiornika wodnego, często bardziej zanieczyszczonego niż dobrze oczyszczony odpływ z oczyszczalni ścieków. Mimo, że odnowa wody ze ścieków na świecie praktykowana jest od dawna, powodując konieczność integracji wykorzystania odnowionej wody ze ścieków z gospodarowaniem zasobami wodnymi w zlewniach i dorzeczach, to nadal istnieje pewna luka informacyjna w tym zakresie. Skutki zmian klimatycznych i rozwój cywilizacji, w tym szybka urbanizacja, powodują ciągle powstawanie nowych zagrożeń związanych z wodą, z których najbardziej dotkliwym jest deficyt wody. Dlatego, istotnym zadaniem na świecie staje się również produkcja wody, w postaci **odnowy wody ze ścieków**. Istnieją w tym zakresie bogate światowe i pewne krajowe doświadczenia praktyczne.

### 24.1. Rodzaje i sposoby wtórnego wykorzystania ścieków

W zależności od sposobu wykorzystania odnowionej wody ze ścieków rozróżnia się następujące rodzaje wtórnego wykorzystania ścieków [2]:

- **bezpośrednie wtórne wykorzystanie ścieków**, w którym następuje połączenie systemów oczyszczającego i odbiorczego,
- **pośrednie wtórne wykorzystanie ścieków**, które obejmuje procesy mieszania i rozcieńczania odnowionej wody ze ścieków, przed jej wykorzystaniem, w naturalnych wodach powierzchniowych i podziemnych, co jest od dawna powszechnie stosowane

W zależności od przeznaczenia odnowionej wody rozróżnia się:

- **wtórne wykorzystanie do celów konsumpcyjnych**, które dotyczy zasilania obiegów wody pitnej wodą uzyskaną z wysoko oczyszczonych ścieków,
- **wtórne wykorzystanie do celów nie konsumpcyjnych**, obejmujące pozostałe zastosowania, w tym do celów: komunalnych (głównie do nawadniania terenów zielonych, ochrony przeciw powodziowej, rekreacyjnych), przemysłowych (w szczególności w procesach chłodzenia i w zamykaniu obiegów wód technologicznych), oraz rolniczych.

Wtórne wykorzystanie ścieków komunalnych i innych może mieć bardzo wiele zastosowań praktycznych, w tym do celów: przemysłowych, komunalnych rolniczych, po spełnieniu wymaganych warunków. Poniżej przedstawiono pewne możliwości wtórnego wykorzystania ścieków komunalnych w tym wtórne wykorzystanie ścieków komunalnych do celów przemysłowych, które zależy głównie od rodzaju przemysłu i celu do którego są wykorzystywane. Największe

możliwości występują w procesach chłodzenia i w zasilaniu obiegów wód technologicznych. Mimo, że zamykanie obiegów wodnych ma podstawowe znaczenie, to oczyszczone ścieki komunalne, w pewnych warunkach lokalnych, mogą być źródłem uzupełniającym. Wtórne wykorzystanie ścieków komunalnych ma zastosowanie do celów komunalnych, szczególnie w gęsto zaludnionych aglomeracjach o dużych potrzebach wodnych. Dotyczy to między innymi: nawadniania terenów zielonych, ochrony przeciwpożarowej, celów rekreacyjnych. Szczególnym rozwiązaniem jest zastosowanie podwójnych systemów wodociągowych, składających się: z instalacji do wody pitnej i z instalacji do wtórnie wykorzystywanych ścieków. W podwójnych systemach wodociągowych bardzo ważnym jest zabezpieczenie przed przypadkowym lub awaryjnym połączeniem ich części składowych.

## 24.2. Rozwój odnowy wody i regulacje prawne

Najważniejszym pojedynczym czynnikiem powodującym zastosowanie systemów odnowy wody ze ścieków i wtórnego wykorzystania ścieków są okresy suszy. Benjamin Franklin (1706-1790), jeden z twórców Konstytucji Stanów Zjednoczonych, stwierdził: „*Poznasz wartość wody gdy studnia jest pusta*”, a w roku 2006, G.W. Miller, stwierdził, że „*najlepszym przyjacielem odnowy wody ze ścieków są susze*”.

Wtórne wykorzystanie ścieków komunalnych do nawodnień rolniczych na świecie jest najstarszym sposobem ich wykorzystania. W XX wieku, pionierem w systematycznym podejściu do problemu wtórnego wykorzystaniu ścieków do celów rolniczych były USA, co było ściśle związane z rozwojem metod oczyszczania, w tym między innymi z inaktywacją i usuwaniem wirusów [3]. Pierwsze amerykańskie regulacje prawne dotyczącego wtórnego wykorzystania ścieków do nawodnień zostały wydane w Kalifornii w 1918 roku. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (US EPA) wydała pierwsze wytyczne dotyczące odnowy wody ze ścieków w 1992 roku, następne w 2004 roku i w 2012 roku, a w 2017 roku – kompendium uzupełniające dla odnowy wód do celów konsumpcyjnych. Od lat sześćdziesiątych, prowadzona jest w USA aktywna promocja wykorzystania odnowionej wody. Równocześnie realizowane są potężne inwestycje związane z odnową wody, szczególnie w stanie Kalifornia, gdzie liczba ludności wzrosła z 38,7 mln (2015) do 44,1 mln (2030). Przykładowo, Metropolitalny Dystrykt Wodny Południowej Kalifornii, w partnerstwie z Sanitarnymi Dystryktami Los Angeles, zatwierdził budowę pilotowej stacji odnowy wody (14 mln USD), jako pierwszy etap Regionalnego Programu Recykulacji Wody, stanowiącego obecnie jeden z największych programów inwestycyjnych tego typu na świecie, o wartości 2,7 mld USD.

W Europie, od początku lat dziewięćdziesiątych, miało miejsce wiele okresów suszy, które najbardziej dotkliwe były prawdopodobnie w Hiszpanii. W tym kontekście, a także z uwagi na prognozowane zmiany klimatu, wykorzystanie odnowionej wody do nawodnień rolniczych stało się atrakcyjnym źródłem dodatkowej wody, głównie w państwach Europy Południowej. Wydano różnego rodzaju regulacje prawne, w tym przykładowo: zalecenia ogólnokrajowe (Francja), normy ustawowe (Włochy), wytyczne regionalne (Hiszpania). We Francji, wydano w 1991 roku, zalecenia dotyczące wtórnego wykorzystania ścieków komunalnych do nawodnień upraw i terenów zielonych., W 1997 roku, Włochy uzupełniły Prawo wodne o kryteria wtórnego wykorzystania ścieków. W Hiszpanii, oprócz ogólnych zapisów w Prawie wodnym, wydano lokalne regulacje prawne standardy wtórnego wykorzystania ścieków w różnych regionach (Andaluzja, Baleary i Katalonia). Na poziomie Wspólnoty Europejskiej, w dyrektywie ściekowej (91/271/WE) z 1991 roku, w art. 12, stwierdzono tylko ogólnie, że: **„oczyszczone ścieki winny być wtórnie wykorzystywane, gdzie jest to celowe”**, nie podając uwarunkowań w tym zakresie.

W skali międzynarodowej, wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczące wtórnego wykorzystania ścieków w rolnictwie, istniały od 1989 roku. Również UNIDO przedstawiła raport na temat zastosowania odnowy wody ze ścieków do celów przemysłowych [4]. Odnowa wody została zastosowana w praktyce w wielu częściach świata, a stopień jej zastosowania ciągle rośnie, co związane jest z postępującym deficytem wody i szybkością zachodzących zmian demograficznych i klimatycznych. Ekstremalne sytuacje pogodowe i związane z nimi przedłużające się okresy suszy, wywierają wpływ na na ekonomikę systemów odnowy i wtórnego wykorzystania ścieków. W 2012 roku, Amerykańska Akademia Nauk, Amerykańska Akademia Inżynierii, Instytutem Medycyny oraz Amerykańska Rada Badań przedstawiły raport z którego wynika, że potencjał zasobów wodnych w USA może zostać znacznie powiększony za pomocą systemów odnowy wody.

### 24.3. Podstawowe uwarunkowania wtórnego wykorzystania ścieków

Źródłami odnowionej wody są różne rodzaje zanieczyszczonych wód i ścieków, w tym ścieki komunalne. Wymagania stawiane systemom oczyszczania ścieków komunalnych, produkujących odnowioną wodę, zależą od sposobu jej wykorzystania oraz uwzględniają: wymaganą jakość wody przeznaczoną do wtórnego wykorzystania i potrzebną ilość odnowionej wody, co związane jest między innymi ze stopieniem oczyszczania ścieków jak i udziałem ilościowo-jakościowym ścieków przemysłowych w ściekach komunalnych.



**Odnowa wody ze ścieków**, oparta jest na procesach oczyszczania, które przywracają ściekom cechy użytkowe wody. Natomiast **wtórne wykorzystanie ścieków/wody** to przynoszące korzyści wykorzystanie odnowionej wody do różnych celów. Odnowa wody i wtórne wykorzystanie ścieków oraz zamykanie obiegów wodnych mogą stać się znaczącymi elementami hydrologicznego cyklu obiegu wody w obliczu postępujących zmian klimatycznych, a szczególnie w przypadku grożących deficytów, związanych z przedłużającymi się okresami suszy. Efektywna integracja wtórnego wykorzystania dobrze oczyszczonych ścieków z gospodarowaniem zasobami wodnymi w zlewniach winna być oparta na ilościowych bilansach potrzeb wodnych różnego rodzaju użytkowników (komunalnych, przemysłowych i rolniczych), przy uwzględnieniu ograniczeń wynikających z wymagań jakości wody i przepisów prawnych, które należy stworzyć w tym względzie.

Ponieważ naturalne zasoby wodne będą stawały się coraz bardziej ograniczone, to woda uzyskiwana ze ścieków może być w przyszłości traktowana jako alternatywne źródło zaopatrzenia, nabierające z upływem czasu coraz większego znaczenia. Nowe paradygmaty i koncepcje gospodarki wodno-ściekowej powodują obniżanie kosztów ochrony wód, przez odzyskiwanie surowców, w tym odzysk wody [5]. Dlatego, sprawy zaopatrzenia w wodę oraz oczyszczania ścieków, a następnie ich ewentualnego wykorzystania, należy rozpatrywać łącznie. Przy podjęciu decyzji o praktycznej realizacji ponownego wykorzystania odnowionej wody należy uwzględnić szereg czynników, w tym: aspekty prawne i przyjęte standardy, dostępne technologie i ekonomikę zastosowania. Upowszechnianie przedsięwzięć wykorzystania odnowionej wody wymaga stosowania uregulowań prawnych i zaleceń pozwalających na wprowadzenie tych przedsięwzięć w sposób bezpieczny.

Wytyczne dotyczące zaleceń zdrowotnych dla wtórnego wykorzystania ścieków w rolnictwie, oparte o kryterium mikrobiologiczne (zawartość bakterii grupy Coli i nicieni) opracowała WHO. Wtórne wykorzystanie odnowionej wody w rolnictwie, zastosowane do nawodnień rolniczych, jest najczęstszym sposobem jej wykorzystywania, szczególnie w regionach/zlewniach gdzie występują niedobory zasobów wodnych. Jednakże, użyteczność tych nawodnień zależy od różnych wskaźników jakościowych. Wtórne wykorzystanie ścieków komunalnych do nawodnień rolniczych jest najczęściej stosowane w regionach gdzie występują wysokie niedobory wody. Użyteczność tych nawodnień zależy od różnych wskaźników jakościowych, w tym między innymi od: zasolenia, stopnia adsorpcji sodu, zawartości elementów śladowych.

#### 24.4. Odnowa wody ze ścieków dla nawodnień rolniczych

Komisja Europejska, w 2013 roku podjęła prace nad opracowaniem regulacji prawnych dla odnowy wody ze ścieków. Powołana została grupa robocza mająca na celu opracowanie strategii maksymalizacji odnowy wody w UE oraz wykonanie oceny środowiskowej, ekonomicznej i społecznej dla proponowanego zestawu działań. W dniu 28 maja 2018 roku, wydany został przez Komisję Europejską, wniosek rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody (COM 2018 337 final). Ogólnym celem dokumentu jest *„przyczynienie się do zmniejszenia niedoboru wody w całej UE, w ramach się przystosowywania do zmiany klimatu, przede wszystkim przez zwiększenie wykorzystania wody odzyskiwanej, w szczególności do nawadniania w rolnictwie, zwłaszcza jeżeli jest to właściwe i racjonalne pod względem kosztów, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu ochrony zdrowia publicznego i środowiska”*.

W dniu 4 kwietnia 2019 roku, wniosek był oceniany przez Państwową Radę Gospodarki Wodnej (PRGW), która w swoim Stanowisku stwierdziła, że wniosek wpisuje się zarówno w światowe trendy odnowy wody, jak i koncepcję unijnej gospodarki cyrkulacyjnej, zastosowanej w tym przypadku do najcenniejszego zasobu jakim jest woda [6]. PROW zaopiniowała pozytywnie wniosek rozporządzenia i wniosła szereg uwag związanych z zastosowaniem odnowionej wody do nawadniania w rolnictwie, między innymi:

- w planowaniu przedsięwzięć odnowy wody i jej wykorzystaniu w rolnictwie do nawadniania, powinno się dokonać oszacowania popytu na wykorzystanie odnowionej wody ze ścieków komunalnych; we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa, należy wykonać zbilansowanie potencjalnych potrzeb w ujęciu terytorialnym, z możliwościami ich zaspokojenia;
- należy wziąć pod uwagę dużą zmienność czasową potrzeb użytkowników w naszym kraju, co ściśle związane jest ze zmiennością sezonową zapotrzebowania wody do nawodnień, ponieważ okres wegetacyjny i związane z nim okresy nawadniania upraw trwają stosunkowo krótko, w porównaniu do innych państw UE;
- planowanie przedsięwzięć związanych z odnową wody powinno być oparte na analizach ekonomicznych, pozwalających na wybór optymalnych rozwiązań technicznych;
- praktyczna realizacja ponownego wykorzystania odnowionej wody ze ścieków komunalnych w kraju, wymagać będzie przeanalizowania szeregu rozwiązań dla rozstrzygnięcia nie tylko spraw o charakterze inżynierskim, ale również spraw ekonomicznych oraz instytucjonalnych;

- zagadnienia o charakterze inżynierskim, dotyczyć będą nie tylko zagadnień związanych z jakością odzyskanej wody i ochroną zdrowia, ale również innych zagadnień technicznych obejmujących, w szczególności systemów dystrybucji odnowionej wody;

We wszystkich wykorzystaniach wody odnowionej ze ścieków, analiza ryzyka i analiza ekonomiczna winny stanowić ważne elementy decyzji związanych z zastosowaniem w praktyce odnowionej wody, co jest szczególnie istotne w przypadku nawodnień rolniczych.

W 2020 roku, Unia Europejska wydała Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/741 z dnia 25 maja 2020 roku w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody (Dz. Urz. UE L177/32, 3.6. 2020, które weszło w życie 20 dnia po jego opublikowaniu i stosuje się od 26 czerwca 2023 roku.

## **24.5. Podsumowanie**

Propagatorem idei odnowy wody ze ścieków w kraju był prof. dr hab. inż. Jerzy Kurbiel (1933-2002), który po powrocie ze stażu w USA, starał się w kraju wprowadzić w praktyce to rozwiązanie, ale bez większego powodzenia. Przyczynił się do tego nie tylko zły stan ówczesnej gospodarki wodno-ściekowej, ale też luka informacyjna, spowodowana prawdopodobnie „złym poinformowaniem” ówczesnych decydentów. Sprawę uznano bowiem za przedwczesną i nie powstała nawet zaawansowana stacja badawcza, jaka przykładowo istniała w Laboratorium Badawczym US EPA w Cincinnati, realizująca w latach 70-tych XX wieku amerykański program badawczy odnowy wody ze ścieków, pomimo, że wówczas Stany Zjednoczone nie musiały stosować jeszcze tego rozwiązania [1].

W Polsce, kraju o niewielkich zasobach wodnych, odnowa wody i wtórne wykorzystanie ścieków mogłyby przyczynić się do łagodzenia deficytów wodnych przy zastraszających się warunkach klimatycznych, w szczególności w okresach suszy. Podobnie jak w innych państwach, w kraju możliwym jest wtórne wykorzystanie ścieków do celów przemysłowych i komunalnych oraz nawodnień rolniczych. Istnieje w tym zakresie szereg doświadczeń krajowych. Przykładowo w gospodarce komunalnej, rozpoczęto prace wdrożeniowe nad wykorzystaniem oczyszczonych ścieków szarych (z umywalek, wanien, natrysków i pralek) w instalacjach budynków i otoczeniu, mimo braku regulacji prawnych w tym zakresie. W niektórych przemysłach, woda odzyskiwana jest od dawna.

Zmiany klimatyczne oraz dalsza implementacja koncepcji gospodarki cyrkulacyjnej mogą, już w niedalekiej przyszłości, spowodować wzrost roli odnowy wody również do celów komunalnych i przemysłowych. W kraju, powinno się

w większym stopniu stosować, procesy filtracji ścieków i/lub dezynfekcji ścieków, po oczyszczaniu biologicznym, w celu spełnienia zaostrzających się standardów oraz większego stopnia ochrony środowiska wodnego cennych akwenów. W przypadku zastosowanych systemów odnowy wody, do stosowanych procesów należą przykładowo: wysokoefektywna filtracja, proces adsorpcji na węglu aktywnym, dezynfekcja promieniami UV, czy procesy membranowe. Należy przeanalizować możliwości techniczne i ekonomiczne, jak też przeprowadzić badania pilotowe, nad wykorzystaniem odnowionej wody ze ścieków do celów komunalnych i przemysłowych, w szczególności w dużych aglomeracjach i w innych regionach gdzie braki wody są, lub mogą być w przyszłości, wyjątkowo odczuwalne. Planowane systemy odnowy i wtórnego wykorzystania ścieków winny obejmować schematy technologiczne, które zapewniają osiągnięcie wymaganej jakości uzyskiwanej wody. Powoduje to konieczność uwzględniania spójności i integracji systemów już na poziomie koncepcji ogólnych, co może odegrać istotną rolę w zrównoważonym rozwoju miast i w ograniczaniu zmian klimatycznych. Wymagać to będzie zastosowania kombinacji zintegrowanych procesów i metod fizycznych, chemicznych oraz biologicznych dla usunięcia różnego rodzaju zanieczyszczeń.

Odnowa wody i wtórne wykorzystanie ścieków niewątpliwie przyczyniają się do usprawniania istniejących rozwiązań i urządzeń oraz powstawania nowych i stosowania ich w praktyce, przykładowo filtrów tkaninowych, rozwiązania zastosowanego w Europie, między innymi w Anglii i oferowanego w Polsce przez Europejskie Centrum Środowiska. Do wielu procesów i metod odnowy wody można zaliczyć przykładowo: koagulację, flokulację, filtrację, adsorpcję, wymianę jonową, mikrofiltrację, ultrafiltrację, nanofiltrację, odwróconą osmozę, elektrodializę, ozonowanie, dezynfekcję chemiczną i dezynfekcję promieniami ultrafioletowymi (UV). Należy dodać, że również odsalanie różnego rodzaju wód, staje się jednym z ważnych komponentów przyszłych zasobów wody, bowiem nastąpił istotny postęp w sprawności i ekonomice technologii membranowych. W tym zakresie, produkowane są na świecie nowe, tańsze membrany, umożliwiające znaczne zmniejszenie kosztów ich zastosowania w praktyce. Szereg podanych wyżej procesów i metod jest stosowanych od dawna, ale innowacyjne rozwiązania winny być opracowywane, stosowane i wspomagane regulacjami prawnymi, ale należy również wdrażać nowe koncepcje dotyczących gospodarki wodno-ściekowej. Idea tworzenia zakładów produkcji wody ze ścieków jest już obecnie na świecie wprowadzona w życie. Stosunkowo jednolity skład ścieków komunalnych i rozwinięte technologie ich oczyszczania pozwalają na ich powtórne wykorzystanie, przez określone grupy użytkowników. Jak uprzednio podano, Unia Europejska, wprowadzająca regulacje prawne związanymi z zastosowaniem odnowionej wody ze ścieków dla potrzeb rolnictwa.

Polska nie posiada regulacji prawnych dotyczących systemów odnowy wody i wtórnego wykorzystania ścieków. Efektywne wdrażanie tych systemów wymaga opracowania i wprowadzenia w życie przepisów zabezpieczających zdrowie ludzi i chroniących środowisko.

W wojnie o czystą wodę, konieczna jest również zmiana stylu życia ludzi i włączenie się w nią społeczeństwa. Przeciwdziałanie skutkom suszy wymaga skonsolidowanego działania całego społeczeństwa i konkretnych działań rządu, wspartych programami badawczo – wdrożeniowymi oraz współpracą międzynarodową. Ważnym jest jednak, aby w decyzjach i działaniach podejmowanych w sprawach odnowy wody ze ścieków uwzględniać ryzyko związane ze zdrowiem publicznym. Opublikowanie nowego rozporządzenia unijnego, związanego z ponownym wykorzystaniem wody, stawia przed gospodarką wodną kraju nowe wyzwania. Niniejszy rozdział stanowi uzupełnioną część prac autora zamieszczonego w raporcie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN [7-8].

## **Bibliografia**

1. Middleton F. M., Gromiec M. J.: Research strategy on wastewater reuse in the United States. *Environment Protection Engineering* 4, 2, 113-125, 1978
2. Middleton F., M., Gromiec M.J.: Overview of wastewater reuse practices. *Environment Protection Engineering* 4, 3, 245-258, 1978.
3. Malina J.F., Gromiec M.J.: Virus inactivation and removal by physical-chemical treatment processes. In: *Methods for Water and Wastewater Treatment* (ed. L. Pawłowski) Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam and New York 1982.
4. Gromiec M., Gutowska -Siwiec L., Ślesicki M.: podstawy wtórnego wykorzystania Biologicznie oczyszczonych ścieków. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2004.
5. Gromiec M.: Using reclaimed water. Technology Foresight Summit, Main Report. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Vienna, Austria. 2007.
6. Gromiec M.: Wpływ koncepcji gospodarki cyrkulacyjnej i nowego paradygmatu wodnego na odzysk wody. *Kierunek Wod-Kan* 4,10-14, 2018.
7. Gromiec M.: Odnowa wody ze ścieków do nawodnień rolniczych w świetle planowanych uregulowań prawnych UE. *Gospodarka Wodna* 11,1719, 2019.
8. Gromiec M.: Nowe koncepcje gospodarki wodno-ściekowej-osadowej. W: Bień J., Gromiec M., Pawłowski L. (red.): *Raport: Ocena gospodarki wodno-ściekowej w Polsce*. Wyd. Polskiej Akademii Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska PAN. Monografia nr 166, Lublin, 2020.

## 25. Dezynfekcja za pomocą promieniowania ultrafioletowego-UV

Współautor: mgr inż. Tomasz Marek Gromiec – Europejskie Centrum Ekologiczne

Rośnie ryzyko związane ze skażeniem mikrobiologicznym wód, szczególnie w okresach suszy i powodzi oraz wraz z odprowadzaniem niedostatecznie oczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych i podziemnych. Największe ryzyko dla zdrowia ludzi stanowi spożycie wody zawierającej zanieczyszczenia mikrobiologiczne, znajdujące się w fekaliami. Powoduje to ciągle rosnące znaczenie efektywnej dezynfekcji wody, w schematach jej uzdatniania, za pomocą różnych procesów fizyko-chemicznych. Zwiększa się również rola dezynfekcji za pomocą promieni UV ścieków biologicznie oczyszczonych, szczególnie odprowadzanych do wód wykorzystywanych do rekreacji w okresie letnim. Rozwiązanie to powoduje również rozszerzenie możliwości wtórnego wykorzystania oczyszczonych ścieków.

### 25.1. Dezynfekcja wody promieniami UV

Dezynfekcja za pomocą promieni UV to metoda, która nie wytwarza ubocznych substancji toksycznych dla ludzi lub organizmów wodnych. Światło UV składa się z promieniowania elektromagnetycznego o długości fal w zakresie od 10-400 nanometrów (nm). Wyróżnia się: fale długie (UV-A) w zakresie 315-400 nm, fale średnie (UV-B) w zakresie 280-315 nm, fale krótkie (UV-C) w zakresie 200-280 nm. Światło UV o długości 200-280 nm penetruje ścianki komórek mikroorganizmów. Długość fali 254 nm wykazuje największą zdolność do dezaktywacji mikroorganizmów chorobotwórczych. Energia UV między innymi trwale uszkadza strukturę DNA mikroorganizmów, co powoduje, że są niezdolne do reprodukcji; Istnieje bardzo bogate piśmiennictwo dotyczące dezynfekcji wody i ścieków różnymi metodami, w tym za pomocą promieniowania UV, przykładowo [1-4].

Zalety technologii UV, ulegającej ciąglemu rozwojowi, w stosunku do tradycyjnych metod, sprawiły, że jest coraz chętniej stosowana. Technologia oparta jest na procesie czysto fizycznym, który nie zmienia smaku i zapachu wody i nie tworzy szkodliwych produktów ubocznych dezynfekcji. Dodatkowo, światło eliminuje potrzebę transportu, przechowywania i wykorzystywania potencjalnie groźnych chemikaliów. W przypadku niektórych mikroorganizmów (przykładowo *Clostridium*, *Cryptosporidium*, *Giardia*) promieniowanie UV jest znacznie skuteczniejszym sposobem dezynfekcji niż metody chemiczne. Powyższe sprawia, że liczba zainstalowanych reaktorów UV na świecie, jak i w Polsce systematycznie wzrasta. Do dezynfekcji wody na stacjach uzdatniania wody, przemyśle spożywczym,



jaki i wody w basenach, stosuje się zamknięte reaktory ciśnieniowe. Występują dwa urządzenia UV, a mianowicie: niskociśnieniowe oraz średniociśnieniowe, a podział ten wynika z rodzaju zastosowanych promienników.

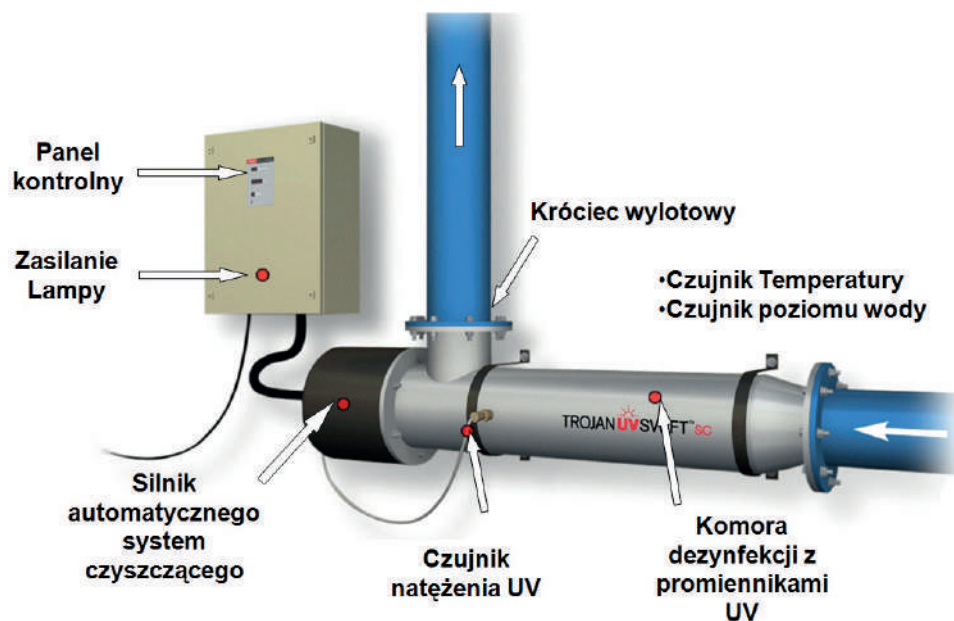
**Promienniki UV** to najważniejszy element każdego systemu UV, emitujące sztuczne promieniowanie UV. Promienniki umieszczone są wewnątrz komory reaktora w specjalnych osłonach ze szkła kwarcowego. Ze względu na ciśnienie par rtęci wewnątrz promienników oraz produkowaną energię UV, urządzenia dzielimy na:

- niskociśnieniowe, nisko wydajne (LP,LO) – ciśnienie pary rtęci około 0,93 Pa, temperatura pracy około 40 °C, używane w małych systemach; ograniczona energii UV, żywotność promienników wynosi do 12 000 h, moc promiennika: 45-88 W,
- niskociśnieniowe, wysoko wydajne (LP,HO) – ciśnienie pary rtęci około 0,18-1.6 Pa, temperatura pracy około 60-100 °C, wysoka wydajność tych promienników pozwala na uzyskanie wysokiej dawki z przy zachowaniu kompaktowych wymiarów system UV; do tej kategorii zaliczamy również lampy amalgamatowe; żywotność promienników wynosi do 12 000 h; o mocy promiennika: 90-1000 W,
- średniociśnieniowe, wysoko wydajne (MPHO) – ciśnienie pary rtęci około 40-4000 Pa, temperatura pracy około 500-900 °C. niezwykle wysoka wydajność; radzą sobie z bardzo dużymi przepływami i bardzo złą jakością wody. żywotność promienników wynosi od 5000 do 9000 h; o mocy promiennika: 3-30 kW.

Promienniki niskociśnieniowe są monochromatyczne, czyli w większości emitujące promieniowanie UV o stałej długości fali, wynoszącej 254 nm. Promienniki te mogą używać małych ilości rtęci w gazie obojętnym (zazwyczaj argonie) i wykorzystują łuk elektryczny do pobudzenia atomów rtęci, które następnie emitują światło. Promienniki średniociśnieniowe zawierają więcej rtęci niż promienniki niskociśnieniowe ponieważ działają przy wyższym ciśnieniu pary rtęci i temperatury (od 500 do 900°C), to emitują promieniowanie UV o znacznie większym natężeniu i w szerszym zakresie długości fal. W przypadku lamp średnio ciśnieniowych, tylko 10-20% jest wykorzystywane jako światło bakteriobójcze. Promienniki niskociśnieniowe, są dużo bardziej wydajne niż promienniki średniociśnieniowe, czyli większy procent mocy promienników jest wykorzystywany do niszczenia mikroorganizmów chorobotwórczych (nawet do 40% mocy).

Reaktory nisko ciśnieniowe, wykorzystują w większości promienniki amalgamatowe wysoko wydajne o mocy do 300 W, a obecnie nawet do 1000 W. Promienniki nisko ciśnieniowe są dłuższe od promienników średnio ciśnieniowych i ułożone są równolegle do kierunku przepływu, co powoduje, że są zdecydowanie



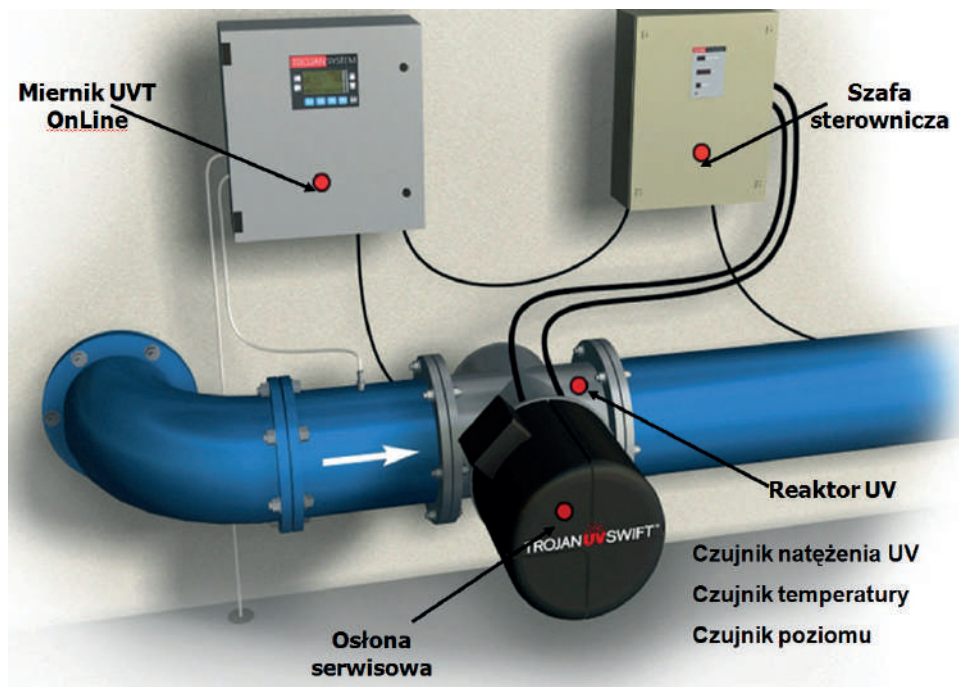


Rys. 25.1. Przykład reaktora UV w kształcie litery L

dłuższe od promienników średnio ciśnieniowych. Komora dezynfekcji ma kształt litery L (rys. 25.1), U lub Z.

Przepływowe reaktory średnio ciśnieniowe wyposażone są w promienniki średniociśnieniowe wielo-falowe, o mocy jednego promiennika nawet do 30 kW (rys. 25.2). Dzięki temu, że w reaktorach średniociśnieniowych promienniki zainstalowane są prostopadle do kierunku przepływu i możliwa jest dezynfekcja dużych objętości wody przy zachowaniu małych rozmiarów reaktora. Zakres wydajności urządzeń średniociśnieniowych to 100 – 3 000 m<sup>3</sup>/h.

Sterowanie mocą promienników odbywa się w zakresie 30 – 100% (gradażacja 2%) i jest bardzo istotne ze względu na duże zużycie energii elektrycznej przez urządzenia. Systemy te wyposażone są w automatyczne (mechaniczne lub mechaniczno-chemiczne) systemy czyszczące osłony kwarcowe promienników i sensorów natężenia. W systemie automatycznym (mechaniczno – chemicznym) wycieraczki wewnątrz wypełnione są specjalnym żelazem czyszczącym, który znacznie polepsza efekt czyszczenia osłon kwarcowych, co w przypadku promienników średnio ciśnieniowych, jest bardzo istotne z uwagi na ich wysoką temperaturę. Reaktor posiada również monitoring czasu pracy lamp oraz czujnik temperatury i poziomu wody w reaktorze. Dodatkowo reaktor może być wyposażony w ciągły pomiar transmitancji wody (UVT), który umożliwia lepszy monitoring dawki UV dostarczanej do wody.



Rys. 25. 2. Przykład reaktora UV średnio ciśnieniowego

Reaktory UV montowane na rurociągu tłoczącym wodę do miasta, za zbiornikami wody uzdatnionej, są stosowane do dezynfekcji końcowej. Reaktory instaluje się na *by-pasie* aby mieć możliwość wykonania okresowego przeglądu i konserwacji systemu, bądź też wyłączenia reaktora na dłuższy okres. Należy jednak podkreślić, że reaktory UV mają działanie miejscowe, a więc w celu utrzymania jakości wody w sieci należy stosować dodatkowo dezynfekcję chemiczną.

**Dawka UV** wpływa na skuteczność procesu dezynfekcji promieniami UV, bowiem bakteriobójcza skuteczność promieniowania UV jest bezpośrednio związana z dawką energii UV absorbowaną przez mikroorganizmy. Przyjmuje się, że minimalna dawka niezbędna do pełnej dezynfekcji wody pitnej winna wynosić (na koniec żywotności promienników)  $400 \text{ J/m}^2$  lub  $40 \text{ mJ/cm}^2$ . Dawka zależy od intensywności UV i czasu kontaktu oraz wyrażona jest w  $\text{mJ/cm}^2$ ,  $\text{J/m}^2$  lub  $\mu\text{Wsec/cm}^2$ , a mianowicie:

$$\text{Dawka UV (J/m}^2\text{)} = \text{Intensywność UV (W/m}^2\text{)} \times \text{Czas kontaktu (sec)}$$

**Intensywność UV** to ilość światła UV na jednostkę powierzchni ( $\text{W/m}^2$ ), a czas kontaktu to czas przez który mikroorganizmy są narażone na intensywne promieniowanie UV (s). Czas kontaktu zależy od konstrukcji reaktora oraz od

wielkości przepływu, a intensywność UV od parametrów urządzenia takich jak: typ promienników, ułożenie lamp oraz parametrów jakości wody (przykładowo mętność, twardość, rozpuszczone substancje organiczne, zawiesina ogólna, związki żelaza, barwa). Dodatkowe czynniki wpływające na intensywność UV to żywotność promiennika i stopień czystości osłony promiennika UV. Intensywność promieniowania UV stopniowo zmniejsza się w miarę użytkowania promienników, które wraz z czasem tracą swoją moc, co jest uwzględnione w przy doborze urządzeń w taki sposób aby rzeczywista dawka UV (pod koniec życia promienników) wynosiła 400 J/m<sup>2</sup>. Żywotność promienników wynosi w przypadku promienników niskociśnieniowych do 12 000 h oraz promienników średniociśnieniowych od 5000-9 000 h. Gromadzenie się nieorganicznych i organicznych ciał stałych na kwarcowej osłonie zmniejsza intensywność światła UV które trafia do otaczającej wody. Dlatego też urządzenia wyposażone są w automatyczny mechaniczny system czyszczący.

**Transmitancja wody (UVT)** stanowi ważne kryterium dla poprawnego doboru reaktorów UV, bowiem wyraża ilość promieni UV w% jaka jest w stanie przejść przez badaną próbkę wody. To jest zarówno miara jakości wody, jak i czynnik wpływający na wielkość dostarczonej dawki UV. Transmitancja UV jest mierzona przy pomocy spektrofotometru, ustawionego na długość fali 254 nm. Transmitancja zmniejsza się w przypadku pochłaniania UV przez substancje i cząsteczki, które absorbują lub rozpraszają światło UV. Powoduje redukcję dostępnej dla dezynfekcji energii UV. Im wyższa wartość transmitancji tym lepszej jakości jest woda i tym mniejszy system UV można zastosować. Przykładowe wartości transmitancji wody: > 90% UVT – woda dobrej jakości; 85 – 90% UVT – woda słabej jakości; < 85% UVT – woda bardzo słabej jakości; < 60% UVT – ścieki oczyszczone.

**Dobór urządzeń** jest szczególnie istotny dla efektywnego działania promieni UV. Przy doborze urządzenia bierze się pod uwagę: typ ujęcia wody, jakość wody, ilość i rodzaj mikroorganizmów, maksymalny, średni i minimalny przepływ godzinowy, a także każdorazowo należy wykonać pomiaru transmitancji wody, która decyduje o wielkości systemu. W przypadku wód powierzchniowych, których jakość wody ulega wahaniom w ciągu roku, istotne są wstępne badania jakości wody w okresie co najmniej jednego roku. **Eksploatacja systemów** dezynfekcji wody promieniami UV związana jest głównie z wymianą promienników. Najwyższe koszty eksploatacyjne stanowi, poza zużyciem energii, właśnie wymiana promienników. Promienniki należy wymienić po przepracowaniu ustalonej ilości godzin. Dla promienników nisko ciśnieniowych jest to do 12000 h, natomiast dla promienników średnio ciśnieniowych do 9000 h. Promienniki po tym czasie, nawet jeżeli dalej pracują, nie dostarczają już odpowiedniej dawki promieniowania UV, ponieważ wraz z wiekiem tracą swoją moc. Dodatkowo, w każdym systemie

okresowo należy sprawdzać wszystkie uszczelnienia, czystość osłon kwarcowych promienników, stopień zużycia wycieraczek. Urządzenia UV wymagają również częstej kontroli ich stanu technicznego, bowiem są to urządzenia mechaniczne mogące ulegać awarii. W takim przypadku należy mieć alternatywny system dezynfekcji np. awaryjne dozowanie chemikaliów. W Europie, Rosji i USA najczęściej urządzenia dobiera się w systemie 1+1, a więc jedno pracujące plus rezerwowe. Przykładowo, w Rosji prawo wymaga zastosowanie reaktora rezerwowego.

## 25.2. Dezynfekcja ścieków promieniami UV

Ścieki z oczyszczalni najczęściej odprowadzane są do odbiornika za pomocą kanałów otwartych, stąd też najbardziej rozpowszechnionymi urządzeniami do dezynfekcji ścieków komunalnych stały się systemy kanałowe. Systemy te, są zdecydowanie prostsze w utrzymaniu i czyszczeniu niż reaktory zamknięte. W reaktorach ciśnieniowych zanieczyszczenia gromadzą się wokół wszystkich części znajdujących się wewnątrz reaktora tzn. na osłonach kwarcowych i systemach czyszczących. Reaktory ciśnieniowe stosowane są przede wszystkim do dezynfekcji ścieków: szpitalnych z oddziałów zakaźnych, z laboratoriów prowadzących badania z materiałem zakaźnym pochodzącym od zwierząt, z zakładów leczniczych dla zwierząt itp. Reaktory ciśnieniowe podobne są w konstrukcji do opisanych wcześniej reaktorów do wody pitnej, ale różnią się między innymi ilością promienników. Systemy stosowane do dezynfekcji ścieków w kanałach otwartych dzielą się ze względu na rodzaj zastosowanych promienników na systemy: nisko i średnio ciśnieniowe.

**Kanałowe systemy nisko ciśnieniowe** znalazły dość częste zastosowanie w praktyce. Pierwsze urządzenia do dezynfekcji ścieków w kanałach otwartych stosowały promienniki nisko ciśnieniowe, które były stosowane głównie w małych oczyszczalniach ścieków. Dla większych oczyszczalni ścieków, aby dostarczyć wymaganą dawkę UV, należało zastosować bardzo dużą liczbę promienników, co wiązało się z trudnościami eksploatacyjnymi i kosztami. Dlatego zostały one zastąpione przez wysokowydajne amalgamatowe promienniki nisko ciśnieniowe, które obecnie stały się powszechnie rekomendowane przez większość producentów urządzeń UV.

W **systemach horyzontalnych** promienniki, są montowane równolegle do kierunku przepływu. Promienniki, umieszczone w specjalnych osłonach kwarcowych, montowane są na ramie ze stali nierdzewnej, tworzącej jeden moduł. W małych modułach może się znajdować od 2 do 6 promienników, w większych modułach liczba promienników dochodzi do 16. W module znajduje się sensor natężenia UV, który stale monitoruje dostarczaną dawkę UV. Moduły ustawiane są obok

siebie kanałe tworząc rzędy, które wypełniają całą szerokość kanału. Rzędy modułów mogą być instalowane jeden za drugim w jednym kanale bądź równolegle obok siebie w dwóch kanałach. Niektóre systemy posiadają wodoodporne balasty zamontowane w górnej części ramy, w innych przypadkach balasty zasilające umieszczone są w szafie sterowniczej i wymagają specjalnego pomieszczenia.

W dużych systemach moduły UV mogą być montowane w klatkach stalowych, które umożliwiają podniesienie do czyszczenia całego rzędu modułów. Małe systemy z reguły projektowane są w taki sposób, aby pojedynczy mógł być wyjmowany niezależnie. Niewielkie moduły mogą być wyjmowane ręcznie większe i cięższe moduły wyjmowane są za pomocą urządzenia podnoszącego. Poziome systemy wymagają do wymiany promienników również wyciągania całego modułu. W czasie pracy urządzenia UV kanał przykryty jest przez profilowane płyty. System nisko ciśnieniowy pokazano na rys.25. 3.

W **systemach pionowych** promienniki montowane są prostopadle do kierunku przepływu, dzięki czemu wszystkie połączenia elektryczne znajdują się poza kanałem reakcji. Lampy UV umieszczone są na specjalnej ramie, tworzącej jeden moduł, który zawiera standardowo do 40 promienników rozmieszczonych równolegle względem siebie w rzędach. W celu zapewnienia odpowiedniego czasu reakcji, rzędy lamp przesunięte są względem siebie w fazie, o połowę długości zajmowanej przez lampę UV. Moduły umieszczane są w kanale szeregowo jeden za drugim, bądź równolegle jeden obok drugiego, w zależności od wymaganej dawki UV oraz warunków hydraulicznych. W celu wyjęcia całego modułu UV niezbędne jest zastosowanie urządzenia podnoszącego. Zaletą systemów pionowych jest możliwość wymiany promienników bez konieczności wyciągania z kanałów modułu UV. **Szafa sterownicza** jest nieodzowną częścią każdego systemu UV. Pozwala ona operatorowi na stały monitoring i kontrolę wszystkich funkcji systemu UV. Składa się ona z mikroprocesora bądź sterownika PLC oraz dotykowego interfejsu operatora, z którego użytkownik ma pełny dostęp do informacji o stanie systemu. W czasie pracy systemu UV kontrolowane są następujące parametry: natężenie UV (za pomocą sensora UV monitorującego natężenie UV w modułach), stan pracy (normalny / uszkodzony) każdego modułu i każdego promiennika UV, wysokość ścieków w kanale, czas pracy promienników, ilość włączeń i wyłączeń systemu UV, który nie powinien być większy niż 4 razy na dobę ze względu na żywotność promienników. Mikroprocesory, albo sterowniki PLC, umożliwiają podłączenie do kontrolera innych urządzeń peryferyjnych w tym przepływomierza oraz urządzenia do pomiaru transmitancji. Pomiaru są wykorzystywane do regulacji mocy promienników, przede wszystkim w dużych oczyszczalniach ścieków, gdzie nacisk kładzie się na zużycie energii przez promiennik.



W systemach nisko ciśnieniowych sterowanie mocą promienników odbywa się w zakresie od 50 -100% w zależności tylko od wielkości przepływu, jednocześnie z pomiarem transmitancji. Jeżeli przepływ ulega zmniejszeniu, bądź jakość wody ulega polepszeniu, wówczas zmniejszana zostaje ilość energii dostarczana do promienników, lub jeden z modułów ulega wyłączeniu.

**System czyszczący** osłony kwarcowe promienników jest jednym z najważniejszych części systemu UV. Każdy promiennik chroniony jest przed bezpośrednim kontaktem z wodą za pomocą bardzo cienkich osłon ze szkła kwarcowego. W czasie pracy urządzenia, osady organiczne i nieorganiczne gromadzą się na osłonach kwarcowych, powodując ich zabrudzenie i absorbując promieniowanie UV. Ponieważ ścieki są dużo gorszym medium dezynfekcji niż woda pitna, wymagane systemy czyszczące odgrywają bardzo ważną rolę. W bardzo małych oczyszczalniach ścieków ręczne czyszczenie jest wystarczające.

Dla większych systemów z dużą liczbą promienników stosuje się różne automatyczne systemy czyszczące uruchamiające się w czasie pracy urządzenia. Automatyczny mechaniczny system wycieraczek, które pozwalają na dłuższą pracę urządzenia. System wycieraczek wykonany jest ze stali kwasoodpornej i teflonu co gwarantuje trwałość ich pracy w trudnych warunkach. Wycieraczki uruchamiane mogą być ręcznie bądź automatycznie, a częstotliwość wycieraczek można ustawić w zależności od szybkości brudzenia się osłon kwarcowych z panelu sterowania. Odmianą tego systemu jest system automatyczny mechaniczny chemiczny, który składa się z uszczelnionych cylindrów przypadających na każdy promiennik. Wnętrze cylindra wypełnione jest żelazem czyszczącym. Pierścienie czyszczące umieszczone na końcach cylindra mają za zadanie usuwanie nagromadzonego na osłonach kwarcowych osadu. Żel rozpuszcza pozostałe, trudne do usunięcia, cząstki nieorganiczne, takie jak sole wapnia czy żelaza. Niezależnie czy jest zainstalowany automatyczny system czyszczący czy nie, okresowo wymagane jest czyszczenie ręczne osłon kwarcowych, bądź też zanurzenie całych modułów w specjalnych zbiornikach ze słabym kwasem (np. kwaskiem cytrynowym), w których umieszczane są moduły UV. Bardzo ważną częścią systemu jest kontrola poziomu ścieków w kanale. Ma ona za zadanie utrzymać poziom ścieków na właściwym poziomie, to znaczy promienniki UV muszą być zanurzone, ale nie może się tworzyć nad nimi zbyt wysoka warstwa ścieków obniżająca skuteczność dezynfekcji. Dla prawidłowego przebiegu dezynfekcji wahania poziomu ścieków nie powinny przekraczać  $\pm 6$  mm od ustalonego poziomu. Najczęściej stosowane do kontroli poziomu są: zasuwka klapowa, zastawka opuszczana z napędem elektrycznym, bądź w mniejszych systemach stosowany jest stały jaz. Kontroler znajduje się za rzędami modułów UV przy ujściu ścieków z kanału.

**Zalety** systemów nisko ciśnieniowych, to: niższe koszty eksploatacyjne ze względu na niższe zużycie energii i dłuższą żywotność promienników sięgającą do 12000 h, w porównaniu do systemów średniociśnieniowych, niższa cena za pojedynczy promiennik, niska temperatura pracy promienników niskociśnieniowych, brak konieczności wyjmowanie całych modułów w celu wymiany promienników (tylko systemy pionowe), automatyczny system do czyszczenia osłon kwarcowych promienników. **Wady**, to: duża ilość promienników, większe wymiary potrzebne do zainstalowania systemu, konieczność wyjmowania całych modułów aby wymienić promienniki (tylko system poziomy).

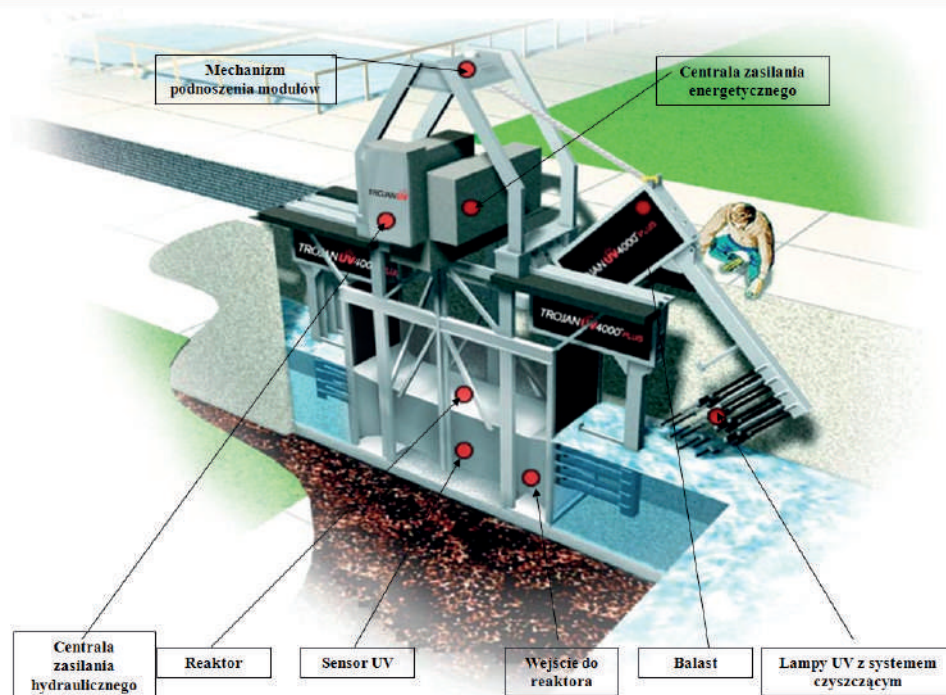
**Systemy średnio ciśnieniowe** są alternatywą dla systemów nisko ciśnieniowych, Stanowią technologię opartą o wysokowydajne promienniki średnio ciśnieniowe. Na małych i średnich oczyszczalniach ścieków stosuje się systemy nisko ciśnieniowe. W oczyszczalniach o dużych przepływach i niskiej transmitancji wody wynoszącej poniżej 60% oraz tam gdzie jest ograniczona powierzchnia pod zabudowę, z powodzeniem stosuje się z systemy średnio ciśnieniowe. Przyczyną montowania tego typu systemów jest dużo większa moc promienników co pozwala na znaczne ograniczenie ilości promienników UV. Przykładowo, jedna lampa średnio ciśnieniowa może dostarczyć tą samą dawkę UV co około 5 lamp średnio ciśnieniowych. Podstawowe elementy systemu przedstawione są na rys.3.

**Zalety** systemów średnio ciśnieniowych są następujące: dzięki małej liczbie promienników system jest kompaktowy, koszty instalacji są mniejsze ze względu na małe wymiary urządzeń, duża moc promienników pozwala na dezynfekcje przy bardzo dużych przepływach i przy niskiej transmitancji, posiada system automatycznego czyszczenia, który pozwala na ograniczenie częstotliwości czyszczenia ręcznego.

**Wady** systemów średnio ciśnieniowych to przykładowo duże zużycie energii elektrycznej przez urządzenia średnio ciśnieniowe. W promiennikach średnio ciśnieniowych tylko od 10-20% mocy jest wykorzystywane jako światło bakterio-bójcze. Dodatkowo, czas kontaktu mikroorganizmów ze światłem UV w reaktorach średnio ciśnieniowych jest znacznie krótszy ze względu na mniejszą długość tych promienników. Lampy średnio ciśnieniowe pracują w dużo wyższej temperaturze stąd czasem potrzebne jest dodatkowe chłodzenie. Promienniki średnio ciśnieniowe są znacznie droższe od nisko ciśnieniowych i mają dużo krótszą żywotność. Przebieżny czas używania jednego kompletu promienników średnio ciśnieniowych to niespełna 1 rok nieprzerwanej pracy podczas gdy promienników nisko ciśnieniowych dochodzi do 1,5 roku

**Efektywność** usuwania mikroorganizmów patogennych, szczególnie bakterii i wirusów, dezynfekcję, uwarunkowana jest również sposobem uzdatniania wody i oczyszczania ścieków poprzedzających. Skuteczność promieniami UV





Rys.25.3. Średnio ciśnieniowy system dezynfekcji ścieków w kanałach otwartych

zależy dlatego od efektywności procesów fizykochemicznych i/lub procesów biologicznych poprzedzających dezynfekcję promieniami UV. Na efektywność usuwania bakterii i wirusów, za pomocą promieni UV, wpływa szczególnie jakość uzdatnianej wody i oczyszczonych ścieków. Ujemnie na usuwanie organizmów patogennych wpływa zawartość zawiesin i niska transmitancja UV, zawartość żelaza i manganu oraz rozpuszczone związki organiczne i związki nieorganiczne, a także twardość wody. Zawiesina ogólna ma wpływ na wydajność dezynfekcji UV, poprzez rozpraszanie i absorbowanie promieni ultrafioletowych lub przez ekranowanie mikroorganizmów przed ich wpływem. Na efektywność dezynfekcji UV wpływają również metale. Obecność dużych ilości nieorganicznych węglanów magnezu lub wapnia może powodować powstawanie powłok na kwarcowych osłonach promienników.

Wrażliwość mikroorganizmów na promienniki UV zależy od rodzaju mikroorganizmów, przy czym zazwyczaj wirusy są bardziej odporne na działanie promieni UV niż bakterie. W przypadku dezynfekcji wody promieniami UV, na podkreślenie zasługuje: wskazana uprzednio skuteczność dezynfekcji organizmów opornych na działanie chloru, szybkie działanie, brak ubocznych produktów dezynfekcji,

bezpieczeństwo, brak wpływu na smak i zapach wody, kompaktowe wymiary, walidacja przez niezależne jednostki certyfikujące oraz największa ilość referencji na świecie. Rośnie liczba systemów dezynfekcji UV biologicznie oczyszczonych ścieków, co jest szczególnie istotne w zlewniach zbiorników wodnych wykorzystywanych do celów zaopatrzenia w wodę i do rekreacji. W Polsce, zainstalowanie tego typu urządzeń zależy wyłącznie od wiedzy i dalekowzroczności kadry kierowniczej wodociągów. Brak jest bowiem stosownych przepisów w tym względzie, które powinny jak najszybciej powstać,

### 25.3. Podsumowanie

Zastosowanie światła UV do dezynfekcji wody do picia oraz oczyszczonych ścieków stało się powszechne w szeregu państw świata. W Polsce, istnieją już instalacje do dezynfekcji wody do picia promieniami UV, przykładowo w Gdyni na SUW Reda gdzie zainstalowana jest największy w Polsce reaktor średniociśnieniowy o wydajności do 2000 m<sup>3</sup>/h. Natomiast dotychczas brak jest instalacji do dezynfekcji oczyszczonych ścieków promieniami UV. Należy dodać, że następuje ciągły rozwój systemów dezynfekcji UV. Technologia UV uprzednio kojarzona z małymi i średnimi wodociągami jednak postęp w dziedzinie lamp UV spowodował, że są one również stosowane na szeroką skalę także na dużych wodociągach. Przykładem może być chociażby miasto Nowy Jork, gdzie zastosowano instalacje UV o wydajności do 353000 m<sup>3</sup>/h, czy miasto Seattle, gdzie pracuje instalacja z lampami średnio ciśnieniowymi o łącznej wydajności 25000 m<sup>3</sup>/h. W Europie największa pracująca instalacja UV z reaktorami średnio ciśnieniowymi znajduje się w Rotterdamie, a jej wydajność wynosi 18600 m<sup>3</sup>/h. Rozwój tej technologii związany jest przede wszystkim z opracowywaniem coraz to nowszych dłużej pracujących i efektywniejszych promienników, co przyczynia się do tworzenia bardziej kompaktowych i energooszczędnych systemów UV.

Istniejące systemy dezynfekcji wody i ścieków charakteryzują się: potwierdzoną skutecznością przez niezależne jednostki certyfikujące, szybkim działaniem, brakiem ubocznych produktów dezynfekcji. Dodatkowo, urządzenia UV są bezpieczne, posiadają kompaktowe wymiary, a dezynfekcja nie zmienia smaku i zapachu wody. Potwierdzona jest również skuteczność urządzeń UV w dezynfekcji organizmów opornych na działanie chloru, to jest przede wszystkim pierwotniaków *Cryptosporidium* i *Giardia*. Rośnie również rola dezynfekcji biologicznie oczyszczonych ścieków, co przejawia się stale wzrastającą liczbą oczyszczalni ścieków z zainstalowanymi promieniami UV. Powyższe stanowi ważną linię ochronny zasobów wody przed zanieczyszczeniami mikrobiologicznymi. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wód powierzchniowych i podziemnych ujmowanych do

zaopatrzenia ludności w wodę. Dezynfekcja oczyszczonych ścieków jest szczególnie istotna w zlewniach zbiorników wykorzystywanych do celów zaopatrzenia w wodę i rekreację. W przypadku wykorzystywania wód do rekreacji możliwa jest dezynfekcja promieniami UV tylko w okresie umożliwiającym korzystanie z wód do celów rekreacyjnych. Dezynfekcja końcowa ścieków stanowi wówczas barierę, która eliminuje aktywne mikroorganizmy chorobotwórcze. Równocześnie dezynfekcja ścieków promieniami UV umożliwia znaczne rozszerzenie możliwości wtórnego wykorzystania oczyszczonych ścieków do różnych celów, mających na celu powiększenie dyspozycyjnych zasobów wodnych. Może to mieć istotne znaczenie w przypadku niekorzystnych wpływów zmian klimatycznych na ilość i jakość zasobów wodnych i konieczne adaptacje do powyższych zmian. Rozdział opracowano na podstawie piśmiennictwa [4-7].

## **Bibliografia**

1. Malina J.F., B.S. Sagik (red.): Virus survival in water and wastewater systems. Water Resources Symposium No.7. Center for Research in Water Resources. The University of Texas at Austin, 1974.
2. Qasim S. R.: Wastewater treatment plants: Planning, design and operation. CRC Press, Boca Raton – London-New York-Washington 1999’
3. Water Environment Federation: Wastewater Disinfection – Training Manual. Alexandria 2006.
4. Metcalf & Eddy /AECOM: Wastewater Engineering: Treatment and resource recovery. McGraw-Hill, V edition. New York 2014
5. Gromiec T., Gromiec M.: Technologia dezynfekcji wody i ścieków promieniami UV. W: Ochrona ujęć wody przed zanieczyszczeniem – Poprawa jakości wody dla Warszawy (red. M. Gromiec). Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Wyd. MPWiK w m st. Warszawie S.A. Warszawa 2007.
6. Gromiec T.: Ocena warunków stosowania wybranej metody do usuwania organizmów patogennych na
7. Gromiec T.M.: Nowoczesne technologie dla gospodarki wodno-ściekowej. W: Ekoinnowacje na Mazowszu – Poradnik dobrych praktyk w ochronie środowiska na Mazowszu. Polskie i norweskie doświadczenia w transferze technologii. Wyd. Centrum Transferu Technologii i Rozwoju Przedsiębiorczości Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2011.
8. Materiały reklamowe firmy Trojan Technologie.

## 26. Mikrobiologia w ochronie wód w kontekście pandemii COVID-19

**Mikrobiologia** to nauka biologiczna zajmująca się mikroorganizmami, do których należą bakterie (bakteriologia) oraz wirusy (**wirusologia**) i grzyby (mykologia). Wraz z rozwojem mikrobiologii, powstały dalsze podziały na: mikrobiologię lekarską, sanitarną, środowiskową, weterynaryjną, rolniczą, glebową, przemysłową. Obraz tej nauki przedstawił prof. dr hab. Władysław J. H. Kunicki-Goldfinger (1916-1995), wybitny polski mikrobiolog i filozof, twórca ośrodków mikrobiologii w Lublinie, Wrocławiu i Warszawie, w podręczniku mikrobiologii „Życie bakterii”[1]. W książce tej, która doczekała się 8 wydań, zaprezentował znaczenie i zastosowanie mikrobiologii w wielu dziedzinach. Należy dodać, że Profesor, zajmował się genetyką bakterii oraz biologicznymi metodami oczyszczania ścieków, mającymi szczególne znaczenie dla mikrobiologii sanitarnej, dlatego zaprezentowany świat bakterii i wirusów, jest szczególnie interesujący dla studentów i przydatny dla praktyki inżynierów sanitarnych i inżynierów środowiska.

Inżynieria sanitarna to dział nauki i techniki zajmuje się tworzeniem higienicznych i zdrowych warunków dla życia i pracy ludzi. Zapewnia zdrowe warunki bytowania ludzi między innymi przez budowę: ujęć wody, wodociągów, kanalizacji i oczyszczalni ścieków, odgrywając szczególną rolę w ochronie zasobów wodnych. Inżynieria środowiska, należy do nauk technicznych, przyczyniając się swoimi działaniami do zachowania środowiska przyrodniczego w stanie równowagi. Bada między innymi rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w środowisku oraz opracowuje metody ich zapobiegania i unieszkodliwiania. Szczególnie istotne jest zapobieganie rozprzestrzeniania się drobnoustrojów patogennych i stosowanie metod dezynfekcji, jak też wykorzystanie drobnoustrojów do oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych, biologicznego przetwarzania odpadów, w tym przeróbki osadów ściekowych, jak też rekultywacji terenów zdegradowanych.

Zasoby wodne mogą być skażone organizmami takimi jak: bakterie, wirusy, pierwotniaki, grzyby i helminty. Według WHO, około 80% chorób przenoszonych przez wodę (ang. waterborne diseases), do czego przyczynia się zła jakość wód i warunki higieny. Choroby te stanowią zagrożenie dla ludności całego świata, a szczególnie w państwach rozwijających się, w których brak jest dostępu do bezpiecznej wody do picia, istnieje nieodpowiedni poziom higieny i złe warunki sanitarne. Mogą jednak wystąpić w każdym państwie, w którym brak jest odpowiednich systemów wodociągowo-kanalizacyjnych, stacji uzdatniania wody i oczyszczalni ścieków.

Do szczególnie niebezpiecznych mikroorganizmów należą wirusy, bowiem wiele ze śmiertelnych chorób wywołanych jest przez te mikroorganizmy Obecna

pandemia COVID-19 wywołana jest przez koronawirusa SARS-CoV-19, należącego do rodziny betakoronawirusów, które zakażają ludzi i zwierzęta. W ochronie wód, można zagrożenia wirusowe i bakteryjne zaliczyć do zagrożeń szczególnie niebezpiecznych i niewidocznych, tak jak promieniowanie.

## 26.1. Wkład Polaków w rozwój bakteriologii i wirusologii

**Bakteriologia** to fascynująca nauka o bakteriach (gr. *bakterion*-laseczka, *logos*-nauka), której korzenie sięgają nawet czasów starożytności, o czym świadczą hipotezy uczonego rzymskiego Marka Trencjusza Warrona (Varro Marcus Terentius, 116-27 p.n.e.).

W wieku XIX, podstawy współczesnej bakteriologii stworzył francuski chemik Ludwik (fr. Luis) Pasteur (1822-1895), który opracował szczepionkę przeciw wściekliznie i wąglikowi. W roku 1888, z inicjatywy Francuskiej Akademii Nauk, utworzono Instytut Pasteura w Paryżu, którego pierwszym dyrektorem został Ludwik Pasteur, uznany obecnie również za twórcę mikrobiologii przemysłowej. Zbadał między innymi fermentację, mającą duże znaczenie w wielu dziedzinach przemysłowych, w tym przeróbce osadów ściekowych, będącą domeną inżynierii sanitarnej. Twórcą nowoczesnej techniki mikrobiologicznej (zastosowanie agaru, barwienie bakterii) był niemiecki lekarz Robert Koch (1843-1919), pracujący w Wolsztynie (pod zaborem Pruskim). Zbadał powtórnie szereg zarazków chorób zakaźnych ludzi, w tym wąglik, gruźlicy i cholery.

Za odkrywcę wirusów (łac. wirus-truczna) uznaje się Dymitra I. Iwanowskiego (1864-1920), rosyjskiego mikrobiologa, który pierwszy wykazał obecność tego czynnika chorobotwórczego wywołującego groźne choroby. Był profesorem Uniwersytetu Warszawskiego, a po zajęciu Warszawy przez wojska niemieckie i jego przeniesieniu (wraz z Wydziałem Lekarskim), został profesorem Cesarskiego Uniwersytetu Warszawskiego w Rostowie nad Donem. Położył podwaliny pod **wirusologię** – dział mikrobiologii zajmujący się wirusami, wykazał przedostawanie się wirusów mozaiki tytoniowej przez porcelanowe saszki bakteryjne. Wśród uczonych, pracujących za granicą, którzy przyczynili się do rozwoju mikrobiologii, to:

Leon Cieńkowski (1822-1887), mikrobiolog, bakteriolog, botanik, pracujący w Rosji, który był pionierem mikrobiologii w Imperium Rosyjskim. Prowadził badania nad szczepionkami zwierząt hodowlanych. Niezależnie od Ludwika Pasteura otrzymał szczepionkę przeciw wąglikowi. W latach 1855-1859, kierownik Katedry Botaniki Uniwersytetu w Petersburgu, a następnie profesor na Uniwersytecie Nowosybirskim w Odessie oraz na Uniwersytecie Charkowskim.

Adam Prażmowski (1853-1920), mikrobiolog, agronom, współodkrywca bakterii brodawkowych i bakteriorazy – zjawiska rozpuszczania się bakterii



w skutek różnych czynników, pracował w Niemczech. Badał cykl rozwoju bakterii i wyizolował bakterie z rodzaju *Bacillus* i *Clostridium*, wniósł wkład a mikrobiologię rolniczą.

Jan Danysz (1860-1928), pracował we Francji jako współpracownik L. Pasteura, gdzie od 1893 roku był kierownikiem działu mikrobiologii w Instytucie Pasteura, a pod koniec życia pracował w Krakowie i badał między innymi zjawiska odporności poszczepiennej.

Znaczny postęp wnosili uczeni i praktycy, o których przypomniał Marek Borucki [2], tacy jak:

Odo Feliks Kazimierz Bujwid (1857-1942), lekarz, bakteriolog, który odbył staże naukowe u L. Pasteura i R. Kocha. Odkrył surowicę do leczenia tężca i surowicę przeciw błonicy. Założył w Warszawie, a potem w Krakowie, Petersburgu i Odesie stację szczepień ochronnych przeciwko wścieklicznie. Był profesorem i kierownikiem Katedry Higieny na Wydziale Lekarskim Uniwersytetu Jagiellońskiego. W 1896 roku, jako radny miejski, przedstawił pomysł rozbudowy wodociągów i kanalizacji w Krakowie, który był niezwykle ważny dla rozwoju miasta, ale wówczas spotkał się z falą ostrej krytyki.

Rudolf Stefan Weigl (1883-1957), biolog, bakteriolog, profesor zwyczajny w Katedrze Biologii Ogólnej Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Jana Kazimierza we Lwowie (od 1920), a później (1945-1948) profesor na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. Wynalazca pierwszej skutecznej szczepionki przeciw tyfusowi – choroby zakaźnej wywołanej przez gram ujemne pałeczki *Salmonelli typhi*. Polak z wyboru, urodzony w Przerowie w rodzinie austriackiej, a po śmierci rodziców wychowywany w tradycji polskiej przez ojczyma Józefa Trojnara – profesora gimnazjum w Jaśle. Założył Instytut Badan nad Tyfusem we Lwowie, a w 1944 roku odrzucił propozycję objęcia profesury w Berlinie. Został pochowany w Alei Zasłużonych w Krakowie.

Ludwig Hirsfeld (1884-1954), wybitny uczony, lekarz, bakteriolog, immunolog, twórca seroantropologii – nauki zajmującej się badaniem różnic serologicznych między ludźmi. Urodzony w Warszawie w spolonizowanej rodzinie żydowskiej, pracował w Zakładzie Epidemiologii, przekształconego później w Państwowy Zakład Higieny (PZH), jako dyrektor Działu Bakteriologii i Medycyny Doświadczalnej. Od 1931 roku, profesor Uniwersytetu Warszawskiego. Po drugiej wojnie światowej, współtworzył Uniwersytet M. Curie-Skłodowskiej, a następnie zorganizował Wydział Lekarski i objął kierownictwo Zakładu Mikrobiologii na Uniwersytecie Wrocławskim. Odkrywcą pałeczki duru rzekomego C oraz twórca polskiej szkoły immunologicznej.

Hilary Koprowski (1916-2013), lekarz, wirusolog, immunolog. Od 1939 roku przebywał poza Polską, a od roku 1944 w USA. W 1949 roku opracował szczepionkę

przeciw wirusowi polio wywołującego chorobę Heinego-Medina, podaną w 1950 roku pierwszemu dziecku. Kierował Instytutem Biotechnologii i Zaawansowanej Medycyny oraz Centrum Neurowirusologii na Uniwersytecie Thomasa Jeffersona w Filadelfii. W 2008 roku, otrzymał tytuł dr h.c. Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego.

Oczywiście, w krótkim rysie historycznym początków mikrobiologii, szczególnie bakteriologii i wirusologii, nie jest możliwe przedstawienie wszystkich, pominięto zapewne wiele światowych nazwisk i ważnych odkryć w których brali również Polacy. Rys ten miał na celu pokazanie również wspaniałego wkładu, wniesionego wysiłkiem Polaków, w rozwój mikrobiologii i ich ważnych odkryć, często o znaczeniu światowym, pomimo niekorzystnych warunków w czasach w którym przyszło im działać, a w których to działanie było szczególnie potrzebne. Wielu z nich zasługiwało na nagrodę Nobla, niestety jej nie otrzymali.

## 26.2. Rola mikrobiologii w inżynierii sanitarnej/środowiska

Rolę mikrobiologii w inżynierii sanitarnej i inżynierii środowiska trudno przecenić, szczególnie w naturalnych i sztucznych metodach oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych komunalnych i przemysłowych. Do naturalnych i pośrednich należą metody biologiczne takie jak: nawadnianie, stawy ściekowe, stawy napowietrzane, pola filtracyjne, filtry gruntowe, natomiast do metod sztucznych: reaktory z zawieszonym osadem i reaktory z błoną biologiczną, przy czym w zależności od warunków tlenowych rozróżnia się metody: aerobowe, fakultatywne i anaerobowe.

Jak wspomniano w rozdziale 15, ewolucję w praktycznym zastosowaniu mikrobiologii w inżynierii sanitarnej wprowadzili na początku XIX w. Anglicy: dr Gilbert Flower oraz praktycy Edward Arden i William T. Lockett, którzy 1914 roku odkryli i zastosowali metodę osadu czynnego (ang. *activated sludge*). Natomiast w kraju, lekarz prof. dr hab. Aleksander Safarewicz (1876-1936) z Zakładu Higieny Uniwersytetu Stefana Batorego w Wilnie, po raz pierwszy przedstawił informację o osadzie czynnym, nazwanym przez niego „mułem aktywnym”, na Zjeździe Higienistów Polskich w Wilnie w 1926 roku [3], a w 1927 roku podkreślił znaczenie tego odkrycia na Zjeździe Lekarzy i Działaczy Sanitarnych Miejskich w Łodzi [4]. Gorzej było ze wdrożeniem tej metody w praktyce, pierwsza krajowa oczyszczalnia, oparta o metodę osadu czynnego, powstała dopiero 1937 roku w Kielcach [5]. Odkrycie i praktyczne zastosowanie metody osadu czynnego, było odkryciem epokowym, które umożliwiło dalszy rozwój ludzkości w miastach.

W Polsce, po drugiej wojnie światowej, na politechnikach zaczęły powstawać wydziały inżynierii sanitarnej, a następnie inżynierii środowiska, które



posiadały zakłady biologii sanitarnej. W 1951 roku, na Politechnice Warszawskiej (PW) utworzono Wydział Inżynierii Sanitarnej, a następnie Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej w 1961 roku. Powstała wówczas Katedra i Zakład Biologii Sanitarnej, których organizatorem i kierownikiem był mgr biologii Leon Bożko (1907-1972), zastępca profesora, który kierował Zakładem Biologii Środowiska w latach 1961-1972. W latach 1972-1997, kierownictwo zakładu objęła prof. dr hab. Zofia Kańska (1928-2020), mikrobiolog i twórca szkoły zastosowań nauk biologicznych w inżynierii środowiska, a w okresie 1998-2012, prof. dr hab. Maria Lucyna Łebkowska, która zajmowała się metodami biotechnologicznymi w ochronie środowiska. Od 2013 roku, stanowisko kierownika zakładu zajmuje prof. dr hab. Monika Ewelina Załęska-Radziwiłł prowadząca badania z obszaru ekotoksykologii. W ramach zakładu, pracowała, od 1961 roku do chwili przejścia na emeryturę, biolog prof. dr hab. Anna Grabińska-Łoniewska, która zajmowała się badaniami nad biodegradacją związków organicznych w ściekach przemysłowych oraz usuwaniem azotu ze ścieków. Uwagę zwraca szeroki zakres prowadzonych badań praktycznych w tym zakładzie, wchodzącym obecnie w skład Wydziału Inżynierii Budowlanej, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska PW.

Również na Politechnice Wrocławskiej, z inicjatywy prof. dr inż. Aleksandra Szniolisa (1881-1963), utworzono w 1951 roku Wydział Inżynierii Sanitarnej, w którym pierwszym kierownikiem Katedry Biologii Sanitarnej został hydrobiolog prof. dr Marian Stangenberg (1891-1963), a później rozpoczęła pracę prof. dr hab. Marianna Pawlarczyk-Szpilowa (1923-2005), mikrobiolog, która uprzednio specjalizowała się z mikrobiologii lekarskiej pod kierunkiem prof. Ludwika Hirszfelda. Natomiast, na Wydziale Inżynierii Sanitarnej Politechniki Śląskiej, utworzonym w 1955 roku, badania nad biologicznym oczyszczaniem ścieków i biologią sanitarną prowadziła prof. zw. dr hab. inż. Maria Zdybiewska (1924-1910). Na Wydziale Inżynierii Sanitarnej Politechniki Krakowskiej, który powstał w 1970 roku, pracowała mikrobiolog prof. dr hab. Elżbieta Kocwa (1918-2011), kierownik Zakładu Biologii Sanitarnej, która w latach 1950-1966 była pracownikiem Zakładu Mikrobiologii Technicznej Instytutu Farmaceutycznego oraz w Zakładzie Mikrobiologii Lekarskiej Akademii Medycznej w Krakowie, jak też Jej córka prof. dr hab. Renata Kocwa-Haluch, w latach 1992-2007 kierownik Zakładu Biologii Środowiska i autorka książki „Wirusologia w inżynierii środowiska”, wydanej w 2002 roku przez Politechnikę Krakowską.

Biologia sanitarna objęła swoim zakresem biologię wód, ścieków, powietrza i gleby, wykorzystując w praktyce osiągnięcia mikrobiologii. Przykładowo, do biologicznego usuwania związków azotowych wykorzystano nityfikację, przy pomocy bakterii nityfikacyjnych *Nitrobacter* i *Nitrosomonas*), jak też denityfikację (bakterie *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter*, *Bacillus*). Współczesny

proces *anammox* wykorzystywany jest do usuwania azotu ze ścieków. Procesy biologiczne stosuje się nie tylko do oczyszczania wody i ścieków, jak również do biologicznego przetwarzania odpadów, w tym osadów ściekowych. Istotna jest rola technologii wody i ścieków w usuwaniu za pomocą dezynfekcji: wirusów, bakterii ich form przetrwalnikowych oraz pasożytów i organizmów wyższych z wody i ścieków. W wodociągach, głównym celem dezynfekcji jest zniszczenie żywych i przetrwalnikowych patogenów oraz zapobieżenie ich wtórnemu rozwojowi, do czego służą metody chemiczne stosujących silne utleniacze, szczególnie dezynfektanty chlorowe, jak też stosowanie promieni ultrafioletowych, ultradźwięków, czy ozonowania. Niektóre metody znane były od dawna, czego przykładami jest chlorowanie i ozonowanie, bowiem w Europie, chlor był po raz pierwszy zastosowany do dezynfekcji wody w 1831 roku, a ozon w 1893 roku. W latach 60-70-tych XX wieku, na świecie nastąpił wzrost badań nad redukcją patogenów. Inżynieria sanitarna zajęła się też inaktywacją i usuwaniem wirusów z wody i ścieków [6-9]. Badania te zostały zintensyfikowane przez nową koncepcję odnowy wody ze ścieków, w związku z deficytami wody.

Związki między mikrobiologią a mikrobiologią sanitarną i środowiskową, przedstawił inżynier środowiska prof. dr inż. Ross E. McKinney, amerykański naukowiec, pracujący na Uniwersytecie Kansas, wskazując jednoznacznie w swoich książkach [10-11] na ich rolę w praktyce inżynierskiej. W USA, początkowo obok inżynierii sanitarnej, powstały inżynieria zdrowia publicznego i inżynieria zdrowia środowiska, a następnie inżynieria środowiska. Wydaje się, że w Europie nastąpiło zbyt jednoznaczne przesunięcie akcentów prewencyjnych ochrony zdrowia człowieka na ochronę środowiska naturalnego. W inżynierii sanitarnej, bardziej zasadniczą była ochrona zdrowia człowieka, przy pomocy działań o charakterze technicznym, wspomagających działania medyczne.

Zmiany klimatyczne i rozwój cywilizacyjny powodują ciągle nowe zagrożenia związane z wodą, ściekami i osadami ściekowymi. W ramach krajowego raportu opracowanego w 2014 roku przez Komitet Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą powołanego przy Prezydium PAN, zaprezentowano zagrożenia ilościowe, jakościowe i instytucjonalne [12]. W rozdziale raportu, dotyczącym zagrożeń związanych z jakością wody, podkreślono, że w wodzie występują wszystkie grupy organizmów chorobotwórczych, w tym między innymi: bakterie, wirusy, pierwotniaki, grzyby i helminty, z których szczególnie groźne są bakterie i wirusy, dodając, że drobnoustroje o wysokiej patogenności nie poddają się już inaktywacji lub zniszczeniu za pomocą konwencjonalnych sposobów dezynfekcji i dlatego niezbędny jest rozwój nowych technik i technologii dla zabezpieczenia zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami mikrobiologicznymi [13].

### 26.3. Nowe zagrożenie – koronawirusy

Koronawirusy istnieją przynajmniej od 10 tysięcy lat, ale ich odkrycie nastąpiło dopiero w latach 60-tych XX wieku. Przez długi czas były na uboczu głównego nurtu badań wirusologii. W 1965 roku, pierwszy szczep nieznanego wówczas wirusa (oznaczonego jako B 814), odkryli Brytyjczycy: wirusolog, histopatolog dr David Tyrrell (1925-2005) oraz lekarz Malcolm Leslie Bynoe (1905-1969). Szczep ten został wyizolowany z komórek osoby z przeziębieniem [14-15]. W latach 1966-1967 roku, dr June Daiziel Almeida (1930-2007), szkocka wirusolog o międzynarodowej reputację w zakresie mikroskopii elektronowej zastosowanej do identyfikacji wirusów (hepatitis B, HIV, różyczka-rubella) i dr David Tyrrell badali grupę wirusów, włączając w to grupę wirusów ludzi i kurczaków [16], które później (1968 rok) zostały nazwane *koronawirusami*. Należy dodać, że w 1961 roku, Amerykanie z Uniwersytetu Chicago: dr Dorothy Myrle Hamre (1915-1989) oraz prof. John J. Procknow (1916-2012) odkryli nieznaną typ wirusa, który oznaczono jako 229 E [17-18].

W krajowej literaturze, należy między innymi wspomnieć o wydanej w 1980 roku w Polsce książce (wydanie czwarte), zredagowanej przez wybitnego wirusologa prof. dr hab. lek. Leona Jabłońskiego (1931-2008), będącej podręcznikiem dla studentów medycyny [19]. W rozdziale 24 podręcznika, prof. L. Jabłoński podał szereg ciekawych i istotnych informacji o koronawirusach, a mianowicie:

- nazwa koronawirus wywodzi się od łac. *corona* – wieniec; wiriony posiadają wielkość 80-160 nm i otoczone są błonami zewnętrznymi, makromolekuła RNA posiada masę około  $2 \times 10^4$  daltonów,
- wirusy są wrażliwe na działanie eteru i innych rozpuszczalników tłuszczów oraz na działanie środowiska o pH 3.0,
- gatunki zaliczane do grupy *Coronawirus* lub typy to: ludzkie wirusy układu oddechowego (szczepy B 814, 229 E, OC, LP i inne), ptasi wirus zakaźnego zapalenia oskrzeli (IBV), wirus mysiego zapalenia wątroby,
- dla człowieka chorobotwórcze są ludzkie wirusy układu oddechowego – powodujące nieżyty górnych dróg oddechowych i zapalenia oskrzeli,
- wirusy występują u dorosłych i nie wyosabia się ich od dzieci,
- wirusy pojawiają się w okresie zimowym (grudzień-marzec) i prawdopodobnie przenoszą się drogą kropelkowo-powietrzną,
- pierwszy szczep ludzkiego wirusa układu oddechowego (koronawirus B 814) wyodrębniono w 1965 roku, a kolejne szczepy w następnych latach (do chwili wydania książki – około 20 szczepów),
- między poszczególnymi szczepami (grupy *Coronavirus*) istnieją duże różnice serologiczne lub nie ma podobieństwa serologicznego, a więc ich budowa antygenowa jest różna,

- grupa *Coronavirus* jest mało zbadana, dlatego dane o niej będą w znacznym stopniu jeszcze uzupełniane.

Koronawirusy stanowią zagrożenie zarówno dla zwierząt jak i dla ludzi. Duża ich grupa występuje u ssaków i ptaków, bowiem wirusy mogą zakazać: gryzonię, psy, koty, króliki, świnie, bydło, norki, małpy, wielbłądy, nietoperze, węże i inne dzikie zwierzęta (lwy i tygrysy) oraz ptaki. Przykłady podano poniżej:

- CCoV – wirus infekujący psy,
- FCoV – wirus infekujący koty (ang. Feline coronavirus),
- MHV – wirus infekujący myszy (ang. Mouse hepatitis virus),
- TuCoV – wirus infekujący indyki (ang. Turkey coronavirus),
- IBH – wirus infekujący kury (ang. Infectious bronchitis virus),
- PEDV – wirus epidemiczny biegunki świń (ang. Porcine epidemic diarrhoea virus).

Wirusy zwierzęce, w tym występujące u zwierząt egzotycznych jak łuskuny palmowe, mogą przenosić się na ludzi, stanowiąc zagrożenie dla zdrowia i życia. Wynika z tego, że wirusy zwierzęce, spowodowały przekroczenie bariery gatunkowej oraz powstanie wirusów odzwierzęcych infekujących ludzi. Wirus SARS – CoV był prawdopodobnie transmitowany do ludzi od nietoperzy, a następnie przez łaskuny i jenoty. Natomiast źródłem choroby wirusa MARS-CoV był wielbłąd jednogarbny. W literaturze światowej, opisane zostały koronawirusy, które wywołują choroby układu oddechowego u ludzi, które przedstawiono poniżej w kolejności ich zidentyfikowania, a mianowicie:

- HCoV-OC43,
- HCoV-229E, ludzki alfa-koronawirus,
- SARS-CoV (wcześniej znany jako 2019-nCoV) – wywołujący zespół ciężkiej niewydolności oddechowej SARS (ang. Severe Acute Respiratory Syndrom),
- HCoV-NL63 – ludzki alfa -koronowirus,
- HCoV-HKU1 – ludzki beta-koronawirus,
- MERS-CoV – wywołujący groźną chorobę zakaźną nazwaną bliskowschodnim zespołem niewydolności oddechowej MERS (ang. Middle East Respiratory Syndrome).

Koronawirusy należą do rodziny *Coronaviridae*, podrodziny *Coronavirinae*, z rodzajami koronawirusów: *alfa*, *beta*, *delta* i *gamma*. Należy dodać, że szybko mutacją.

## 26.4. Epidemie wirusowych chorób zakaźnych i pandemia COVID-19

Od początku istnienia ludzkości, człowiekowi zagrażały różne choroby. Epidemie i pandemie były i nadal stanowią część życia ludzkości. Początek XXI wieku

przyniósł światu różne epidemie i pandemie – ogłaszane przez WHO, jako stany zagrożenia zdrowia publicznego (ang. PHEIC – Public Health Emergencies of International Concern), przykładowo:

- epidemia w 2002 roku w południowo-wschodniej chińskiej prowincji Guangdong spowodowana wirusem SARS-CoV, WHO w dniu 5 lipca 2003 ogłosiła zwalczanie wirusa SARS-CoV,
- pandemia w 2009 roku w związku ze świńską grypą wywołaną wirusem H1N1,
- epidemia w 2012 wywołana koronawirusem MERS-CoV,
- epidemia ptasiej grypy wywołana wirusem H5N1,
- epidemia w 2014 roku w związku z gorączką krwotoczną wywołaną wirusem ebola, zwanym Zaire Ebola i trzy jego podtypy,
- pandemia w 2019 roku w skali globalnej wywołana wirusem SARS-CoV-2, WHO ogłosiła stan PHEIC w dniu 30 stycznia 2020 roku, a fakt pandemii oficjalnie w dniu 11 marca 2020 roku.

Przedstawiając wczesny rozwój wirusologii dotyczący koronawirusów, w aspekcie rozwoju również inżynierii sanitarnej i inżynierii środowiska, należy się odnieść się do pandemii COVID-19 spowodowanej przez SARS-CoV-2. Na świecie, na tą chorobę zachorowało do końca stycznia 2021 roku ponad 100 mln ludzi (w Polsce – 1,3 mln) i nastąpiło ponad 2,1 mln zgonów.

Pandemia COVID-19 (ang. **V**i-virus, **D**-disease, **19**-year 2019), spowodowana pierwszymi przypadkami choroby pod koniec 2019 roku, w chińskim mieście Wuhan w Chinach, zintensyfikowała również badania nad koronawirusami również w Polsce, realizowane w różnych ośrodkach naukowych. W kraju, jednym z przykładów jest polski test genetyczny na wirusa SARS-CoV-2, z wysoką ponad 99% czułością reakcji, który został opracowany przez Instytut Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu. W Instytucie Biologii Doświadczalnej im. Marcelego Nenckiego PAN w Warszawie opracowano metodę zbiorczego testowania na koronawirusa w ramach projektu „Sona”. Pracując w Holandii, prof. dr hab. Krzysztof Pyrc z Małopolskiego Centrum Jagiellońskiego w Krakowie brał udział w zidentyfikowaniu nowego wirusa HCoV-NL63 [20].

Skupienie wysiłków na badaniu koronawirusów na świecie, pozwoliło na odkrycie nowych ich odmian, w tym przykładowo nowej odmiany oznaczonej jako VUI-2020 12 /01. Badania nad pandemią COVID-19 nabierają coraz większego znaczenia w związku z zagrożeniem dla zdrowia publicznego świata. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zbiera systematycznie codziennie (od poniedziałku do piątku) olbrzymią literaturę światową z 20 państw, w tym z Polski, dotyczącą nowych badań nad koronawirusami, w specjalnie utworzonej bazie komputerowej.

Profilaktyka medyczna związana jest ze szczepionkami, które zwiększają odporność populacji ludzkiej. Następuje rozwój technologii szczepień, czego przykładem jest nowa technologia szczepień mRNA. Zagrożenie dla zdrowia publicznego spowodowało, że opracowano już szczepionki, które uzyskały status przyspieszonej rejestracji w 2020 roku i rozpoczęto na świecie programy ich wdrażania.

Trwa równocześnie poszukiwanie nowych leków. Prof. Małgorzata Polz-Dacewicz z Zakładu Wirusologii z Laboratorium SARS Uniwersytetu Medycznego w Lublinie, przedstawiając badania nad szczepionkami i lekami, wyróżniła trzy strategie opracowywania nowych leków w walce z koronawirusem [21]:

- przebadanie skuteczności już istniejących leków przeciwwirusowych,
- wykorzystanie istniejących baz danych do znalezienia cząsteczek wykazujących efekt terapeutyczny wobec koronawirusa,
- oparcie się na informacji o strukturze genomu różnych koronawirusów i poszukiwanie nowych punktów istotnych dla leków przeciwwirusowych.

Dla skutecznej walki z koronawirusem niezbędna jest przede wszystkim dobra diagnostyka. W tym zakresie, nastąpił rozwój nowoczesnych metod diagnostycznych, takich jak przykładowo metoda VIDISCA (ang. Virus discovery based on cDNA-AFLP, amplified fragment length polymorphism), która jest wykorzystywana do amplifikacji nieznanymi genomów, takich jak patogenicznych wirusów ludzkich. Ważne jest zastosowanie efektywnej strategii dla kontroli pandemii w ramach szczepień ochronnych. Nie wiadomo jednak, czy w przyszłości działania polegające głównie na izolacji źródeł zakażenia wystarczą do kontroli kolejnych ludzkich koronawirusów i innych groźnych zagrożeń patogennych. Wydaje się, że oprócz niezwykle ważnych działań medycznych, do walki z epidemiami i pandemiami, winna włączyć się bardziej inżynieria środowiska, która wraz ze swoją poprzedniczką – inżynierią sanitarną, a szczególnie wraz z mikrobiologią sanitarną, zawsze odgrywała ważną rolę prewencyjną w walce z chorobami zakaźnymi. Działania powyższe dotyczyły jednak innych chorób zakaźnych, związanych z mikroorganizmami występującymi głównie w wodach i ściekach. Mikrobiologia zawsze odgrywała bardzo aktywną rolę w ochronie zasobów wodnych.

W stosunku do koronawirusów przyjęto, że zakażenia zachodzą przede wszystkim drogą kropelkową, przy bezpośrednim kontakcie zdrowego człowieka z chorą osobą. W przyszłości, pośrednie drogi zakażenia wirusami mogą jednak okazać się również ważne. Amerykańska Agencja Środowiska Wodnego (ang. Water Environment Federation – WEF) uważa, że oprócz drogi kropelkowej istnieją możliwości zakażenia się żywnością i fekaliami, chociaż obecnie pewnie w znacznie mniejszym stopniu. WEF uznała obecne ryzyko zakażenia pracowników oczyszczalni ścieków jako niskie, stwierdzając jednak, że dla ich ochrony winny być prowadzone dalsze badania nad oszacowaniem stopnia zagrożenia. WHO wydała



komunikat, że nie ma dowodów na przeżycie koronawirusa w wodzie do picia, stwierdzając, że obecnie systemy wodociągowe nie stanowią systemów dla jego rozprzestrzenienia. WHO zaleca również zachowanie zasady higieny przy kontakcie z żywnością, pomimo braku dowodów na możliwość zakażenia.

Jednakże, badania ścieków, prowadzone pod kontem obecności SARS-CoV-2 (fragmentów RNA-genetycznego kwasu rybonukleinowego), dają pewną szansę wykrywania przestrzennych ognisk tego wirusa na danym obszarze, nawet przed przypadkami klinicznymi, co można zobrazować przy pomocy Geograficznych Systemów Informacji Geograficznej (ang. Geographic Information Systems – GIS). Może to być szczególnie istotne w aglomeracjach z kanalizacją ogólnospławną, doświadczających zrzuty ścieków burzowych, których intensywność może zwiększać się wraz ze zmianami klimatycznymi. Zagrożenie może stanowić również niewłaściwie zastosowanie odnowy wody ze ścieków do nawodnień rolniczych, które wprowadza Unia Europejska, w związku z występującymi suszami. Badanie fragmentów RNA wirusa SARS-CoV-2, w ściekach i osadach ściekowych, prowadzi się obecnie w wielu państwach, licząc na ich wykorzystanie do wczesnego ostrzegania. Komisja Europejska uruchomiła w tym zakresie specjalny projekt badawczy. Obecność fragmentów RNA wirusa w kale potwierdza w zasadzie obecność koronawirusa w ściekach, ale nie pozwala na ocenę stopnia jego patogenności. Stwierdzono natomiast, że cząsteczki kału grały główną rolę w zakażeniu się nowym koronawirusem w budynku ze złą instalacją sanitarną w Hong Kongu [22]. Wymaga to zwrócenia uwagi na inżynierskie metody kontroli powietrza w budynkach publicznych, a szczególnie w szpitalnych i innych. Wydaje się, że różne drogi przedostawania się nowych koronawirusów do środowiska, mogą powodować różny stopień zagrożenia związanego z powietrzem oraz wodą (ang. water – related exposures), a wpływ różnych czynników środowiskowych (wilgotności, temperatury, promieniowania słonecznego itp.) może wywierać wpływ na drogi ich transmisji. Szczególnie narażone są regiony o niskich standardach higieny i nieodpowiednich urządzeniach sanitarnych. MERS-CoV, wykryty u pacjenta z Arabii Saudyjskiej, spowodował zachorowania wśród ludzi, z śmiertelnością przypadków wynoszącą 35%, znacznie większą niż przy SARS. Obecność MERS-CoV stwierdzono nie tylko w wydzielinie z układu oddechowego i surowicy, ale również w kale i w moczu ludzi, wraz z możliwością występowania choroby MERS również u innych zwierząt niż wielbłąd jednogarbny, takich jak świnie. W nowej sytuacji świata, związanej z pandemią COVID-19, prof. dr hab. Artur Pawłowski z Politechniki Lubelskiej [23] uważa, że nauki techniczne i inżynieria środowiska będą nadal odgrywać istotną rolę, z uwagi na nowe wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi oraz zanieczyszczeniem środowiska oraz podkreśla, że mimo wprowadzonej



kwarantanny, wysiłkiem branż wodociągowej i energetycznej, mamy zapewniony dostęp do czystej wody i energii.

## 26.5. Potencjalne drogi transmisji koronawirusów w środowisku

Epidemiologia, w zakresie dotyczącym ludzi, bada występowanie i rozmieszczenie chorób w populacji ludzkiej, w tym ustalenie: zapadalności, chorobowości, umieralności i śmiertelności oraz wpływu czynników środowiskowych. Pandemia COVID-19 ogarniająca cały świat, zmusza do: identyfikacji źródeł, monitorowania i studiowania rozwoju oraz opracowania działań spowalniających rozprzestrzenianie się i zmniejszających jej wpływ.

Na świecie, od początku pandemii do końca stycznia 2021 roku, zachorowało ponad 200 mln ludzi, a 2,1 mln zmarło. Pojawiły się nowe odmiany SARS-CoV-2 oraz nowe koronawirusy. Dyrektor generalny WHO wskazał, że obecny kryzys, związany z koronawirusem, nie jest ostatnią pandemią czekającą ludzi i mogą pojawiać się jeszcze groźniejsze. Dlatego, Zgromadzenie Ogólne ONZ ustanowiło dzień 27 grudnia jako *Międzynarodowy Dzień Gotowości na Pandemię*, co wskazuje na konieczność przygotowywania się na przyszłe pandemie, do których przyczyniają się również zanieczyszczenie środowiska i zmiany klimatyczne.

Walcząc z pandemią COVID-19, przyjęto, że zakażenia zachodzą głównie drogą kropelkową, przy bezpośrednim kontakcie zdrowej osoby z chorą osobą. Oprócz tej głównej drogi bezpośredniego zakażenia człowieka koronawirusami, istotnymi mogą okazać się, w pewnych przypadkach, pośrednie drogi transmisji. Programy badawcze winny obejmować badania nad monitorowaniem wczesnego wykrywania zakażeń oraz zaawansowanymi metodami unieszkodliwiania koronawirusów ze ścieków i osadów ściekowych oraz wody.

W stosunku do SARS-CoV-19 przyjęto, że zasadnicza transmisja zachodzi drogą kropelkową, bowiem kaszląca zakażona osoba może wytwarzać mikrokropelki (w ilości kilku tysięcy i średnicy około 0.3-100 mikronów), przy czym tzw. frakcja respirabilna (o rozmiarze 1-100 mikronów) ma zasadnicze znaczenie, bowiem bioareozole o rozmiarze 1-5 mikronów pozostają zasadniczo w powietrzu, natomiast o większym rozmiarze osiadają na powierzchniach. Koronawirusy (SARS-CoV-2 oraz SARS-CoV-1) żyją od kilku godzin do kilku dni na różnych powierzchniach, w zależności od materiału [24].

Małe mikrokropelki (0.1-5 mikronów) mogą przenosić się nawet na odległość kilkuset metrów, natomiast mikrokropelki o wielkości od 5-100 mikronów praktycznie zmniejszają się do wielkości 0.25-1.0 lub 2.5-10 mikronów. Szybkość ich transmisji zależy od: prądu powietrza, temperatury i wilgotności. Dlatego, chociaż bezpośrednio wykrywanie wirusów przenoszących się w powietrzu jest bardzo

trudne, to nie oznacza, że nie przenoszą się za pomocą powietrza. O ile transmisja koronawirusa drogą kropelkową wydaje się być oczywistą, to nie można wykluczać transmisji powietrznej poprzez drobne areozole.

Pomocnymi narzędziami przy ocenie ryzyka infekcji przez SARS-CoV-2 w pomieszczeniach są modele matematyczne. Przykładem takiego narzędzia analitycznego jest model oceny stopnia ryzyka infekcji SARS-CoV-2 w pomieszczeniach zamkniętych [27]. W oparciu o ten model opracowane zostało skomputeryzowane narzędzie obliczeniowe pod nazwą AIRC (ang. Airbone Infection Risk Calculator), z oprogramowaniem Microsoft Excel [28]. Stanowi ono pomoc w oszacowaniu potencjalnego ryzyka infekcji, związanego z różnym okresem przebywania w danym pomieszczeniu.

Według WHO, w stosunku do otoczkowych koronawirusów, brak jest obecnie dowodów naukowych przenoszenia się choroby układu oddechowego za pomocą transmisji fekalno-oralnej. Dotychczas nie wykryto też ich występowania w wodzie do picia. Jednakże, dotychczasowe doświadczenia z chorobotwórczymi wirusami bezotoczkowymi, tworzącymi nowe gatunki, z dużą zdolnością generowania różnorodności genetycznej i adaptacji do różnych żywicieli i środowisk, wskazują, że istnieją w ich przypadku również drogi pośrednie, w tym transmisja fekalno-oralna, oprócz dróg bezpośrednich transmisji.

Dlatego, nowe koronawirusy, pomimo, że są wisusami otoczkowymi, przenoszącymi choroby układu oddechowego ludzi, budzą również szereg obaw. Istnieje obawa, że koronawirusy mogą przenikać do wody i ziemi, co może przykładowo następować z odpadów stałych i cieczy pochodzących od zakażonych ludzi, szczególnie na terenach nie posiadających urządzeń sanitarnych, ale również na terenach zurbanizowanych wyposażonych w niewłaściwie funkcjonujące urządzenia sanitarne. Istnieją także obawy związane z transmisją koronawirusów do wód przeznaczonych do celów rekreacyjnych i wynikającym z tego ryzykiem dla zdrowia publicznego. Obawy dotyczące transmisji koronawirusów związane są też z niewłaściwie działającymi oczyszczalniami ścieków komunalnych, w tym oczyszczalniami ścieków ze szpitali, które mogą stanowić zagrożenie zdrowia publicznego. Obawy związane są też z osadzaniem się koronawirusów na różnych powierzchniach i związanym z tym przedostawaniem się ich do środowiska, szczególnie środowiska wodnego i ściekowego, w tym do osadów ściekowych i do ziemi. Obawy te zostały spotęgowane przez doniesienia naukowe dotyczące możliwości występowania koronawirusów również w kale i moczu zakażonych osób.

## **26.6. Koronawirusy w ściekach, osadach ściekowych, odbiornikach wodnych**

Wykrycie koronawirusów również w kale i moczu u zakażonych ludzi, spowodowało zwrócenie uwagi na możliwości ich występowania w ściekach komunalnych, szczególnie w ściekach ze szpitali, odprowadzanych do kanalizacji ogólnospławnej.

W 2020 roku, wiele państw podjęło badania związane z występowaniem RNA koronawirusa SARS-CoV-19 w ściekach, osadach i wodach zanieczyszczonych odbiorników, a mianowicie [7]:

- Francja – Paryż, Montpellier – ścieki surowe i oczyszczone,
- Włochy – Mediolan, Monza, Rzym, Turyn, Bolonia – ścieki, rzeki,
- Holandia – Amsterdam, Haga, Utrecht, Apeldoorn, Tilburg, Schiphol – ścieki,
- Hiszpania – Murcia, Totana, Lorca, Cartagena, Walencja, Barcelona – ścieki,
- Niemcy – Północna Westfalia – ścieki i osady ściekowe,
- Czechy – nie podano
- Turcja – Istanbul – ścieki i osady ściekowe,
- Izrael – Tel Awiw – ścieki surowe, ścieki ze szpitali,
- Brazylia-Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina – ścieki, rzeki
- Chile – Santiago – ścieki, rzeki,
- Ekuador – Quito – rzeki,
- Kanada – Ottawa, Gatineau – osady ściekowe
- USA – Connecticut, Massachusetts, Montana, Nowy Jork, Wirginia, Louisiana – ścieki,
- Chiny – Wuhan – ścieki surowe i oczyszczone,
- India – Dżajpur – ścieki surowe i oczyszczone, ścieki ze szpitali,
- Japonia – Ishikawa, Toyama, Yamanashi – ścieki surowe i oczyszczone,
- Pakistan – Islamabad – ścieki,
- Bangladesz – Noahali – ścieki,
- Australia – Queensland – ścieki surowe.

Przykładowo, w Europie, w ramach badań podjętych w Holandii w lutym 2020 roku, przebadano ścieki komunalne pochodzące z kilku miast i lotniska (Schiphol) [8]. Badania na obecność SARS-CoV-2 w ściekach komunalnych wykazały oznaki jego obecności związane są z oznaczaniem jednego fragmentu (N1), trzech fragmentów genu białka nukleokapsydowego (N1-3), jak też fragmentu genu białka otoczki (E). Badania powyższe wskazują na praktyczne możliwości monitorowania ścieków pod kątem obecności fragmentów koronawirusa i określania szybkości rozwoju pandemii w danej populacji, w uzupełnieniu do prowadzonych

statystyk zarażeń danej populacji. Natomiast, w Australii, badano ścieki surowe dopływające do oczyszczalni działających w dwóch dorzeczach w Południowo-Wschodnim Queensland [8]. Obecność SARS-CoV-19 w ściekach, w postaci kopii wirusowego RNA (kwasu rybonukleidowego), wykryto zastosowaną ilościową reakcją łańcuchową polimerazy z odwróconą transkryptazą, tzw. metodą RT-qPCR (ang. **R**everse **T**ranscriptase **Q**uantitative **P**olymerase **R**eaction **C**hain).

Trudno jest porównać wyniki ilościowe uzyskane z powyższych badań, głównie z uwagi na stosowanie przy oznaczaniu obecności fragmentów koronawirusa w ściekach, osadach ściekowych i odbiornikach wodnych różnych metod analitycznych, jak też występujących różnych warunków.

### **26.7. Wykrywanie, monitorowanie i modelowanie koronawirusów w ściekach**

Należy podkreślić, że prace nad zastosowaniem monitoringu w stosunku do wirusów bezotoczkowych rozpoczęły się ponad 40 lat temu. W latach 1960-tych XX wieku stwierdzono zależność pomiędzy obecnością wirusa polio w ściekach a klinicznymi przypadkami choroby, wykazując, że regularnie badane próbki ścieków przyczynia się oceny intensywności nowych przypadków zakażeń. Wykorzystała to później Światowa Organizacja Zdrowia (ang. WHO), do monitorowania sukcesu światowej kampanii szczepień przeciw wirusowi polio. Sytuacja późniejsza, która związana była ze światowym terroryzmem, sprawiła, że nastąpił dalszy rozwój monitoringu związanego z badaniem ścieków w systemach kanalizacyjnych, szczególnie w USA. Rozwój ten dotyczył oceny ilościowej ryzyka mikrobiologicznego (ang. Qualitative Microbial Risk Assessment – OMRA) i wynikał z obawy przed terroryzmem biologicznym [32].

Badania nad możliwościami zastosowania nadzoru i monitoringu wirusów z otoczką, szczególnie SARS-CoV-2, rozpoczęły się wraz z wykryciem tego wirusa w kale i moczu u zarażonych ludzi. Ścieki stały się istotnym wskaźnikiem obecności tego koronawirusa w danej populacji, nie będąc jednak same uznane za źródło zakażeń. Nastąpił gwałtowny rozwój epidemiologii opartej o ścieki (ang. Wastewater-Based Epidemiology – WBE) i detekcji wirusowej zanieczyszczonych odbiorników wodnych, jako narzędzia badania rozwoju pandemii COVID-19.

Nowoczesne techniki analityczne zdolne są do wykrywania fragmentów RNA koronawirusa SARS-CoV-19 w ściekach i osadach ściekowych. Możliwość wykrywania obecności tego wirusa w ściekach jeszcze przed przypadkami klinicznymi spowodowała, że monitoring w tym zakresie może być również wykorzystywany w systemie wczesnego ostrzegania oraz do badania przestrzennego rozwoju pandemii. W tym ostatnim, rozprzestrzenianie się pandemii COVID-19 może być

analizowane przy pomocy modelowania przestrzennego, opartego o systemy GIS (ang. Geographic Information Systems), zarówno w skali globalnej jak i terytorialnej czy zlewniowej. Przykładowo, praktyczne zastosowanie GIS do tego celu nastąpiło w 2020 roku w USA [32]. Wyniki uzyskane z badań w australijskim Queensland posłużyły do określenia liczby zainfekowanych osób w zlewni za pomocą symulacji metodą Monte Carlo.

Komisja Europejska UE, poparła realizację projektu dla opracowania tzw. mapy drogowej, opartej o badanie 90 oczyszczalni ścieków, związanej z oceną możliwości realizacyjnych nowego systemu nadzoru, uzupełniającego obecny krajowy i regionalny nadzór nad pandemią. Do projektu przystąpiły: KWR – Instytut Badań Wody (Holandia), Eurecat – Centrum Technologiczne Katalonii (Hiszpania), Uniwersytet w Tesalii i Narodowy Uniwersytet Techniczny w Atenach (Grecja) oraz Uniwersytet Exeteru (Wielka Brytania) i Uniwersytet RWTH Aachen (Niemcy). Natomiast, do ogólnoeuropejskiej oceny wykonalności i zbadania możliwości monitoringu ścieków na koronawirusa (tzw. umbrella study), w pierwszym etapie zgłosiło udział 17 państw (Austria, Belgia, Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Estonia, Niemcy, Grecja, Irlandia, Włochy, Łotwa, Malta, Polska, Rumunia, Słowacja, Hiszpania i Szwecja), a w drugim przyłączyło się następne 9 państw (Czechy, Dania, Finlandia, Francja, Węgry, Izrael, Luksemburg, Portugali i Słowenia). Wyrażono nadzieję, że zdobyte doświadczenia pozwolą na stworzenie Systemu Monitorowania Ścieków na SARS-CoV-2.

W USA, utworzenie profesjonalnego systemu pod nazwą Narodowy System Nadzoru Ścieków (ang. National Wastewater Surveillance System – NWSS) zainicjowała CDC – agencja rządu federalnego (ang. Centers for Disease Control and Prevention), wchodząca w skład Departamentu Zdrowia i Opieki Społecznej (ang. Department of Health and Human Services – HHS), we współpracy z innymi agencjami rządowymi. Utworzono w tym celu specjalny komitet integracyjny, wspierający CDC w implementacji NWSS do zbierania, analizowania i integracji danych uzyskanych ze ścieków, związanych z epidemią COVID-19. W skład komitetu, oprócz CDC i HHS, wchodzi następujące instytucje federalne: Agencja Ochrony Środowiska (EPA), Departament Bezpieczeństwa Wewnętrznego (DHS), Departament Obrony (DoD), Amerykańska Służba Geologiczna (USGS), Narodowy Instytut Zdrowia (NIH), Narodowa Fundacja na rzecz Nauki (NFS), Departament Spraw Weteranów (VA). Podjęto też współpracę koordynacyjną z wybranymi organizacjami pozarządowymi, przykładowo z Federacją Środowiska Wodnego (ang. Water Environment Federation - WEF). Należy dodać, że CDC zajmuje się nie tylko zapobieganiem chorobom zakaźnym oraz ich monitorowaniem i zwalczaniem, ale też zagadnieniami zdrowotnymi związanymi ze środowiskiem naturalnym i środowiskiem pracy. W USA, powstało też pierwsze

komercyjne laboratorium wykrywania SARS-Cov-2 w ściekach, które utworzyła firma Pace Analytical Services LLT – posiadająca największą sieć laboratoriów w Stanach Zjednoczonych.

W Wielkiej Brytanii, utworzono system pod nazwą Angielski Program Nadzoru, obejmujący obecnie 44 oczyszczalnie ścieków, obsługujące około 23% populacji Anglii, przy czym badania prowadzono również w Szkocji i Walii

## 26.8. Podsumowanie

Pandemia COVID-19 stanowi obecnie najważniejszy problem zdrowia publicznego, a kryzys dotyczący całokształtu życia człowieka. Nie tylko niszczy życie ludzi, ale też rozwój społeczny i ekonomiczny. Dyrektor generalny Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) – dr Tedros Adhanom Ghebreyesus, biolog i immunolog, uważa, że obecny kryzys związany z koronawirusem nie jest ostatnią pandemią czekającą ludzi i mogą pojawić się jeszcze groźniejsze i intensywniejsze nowe pandemie. Wskazał, że należy skutecznie działać na rzecz ochrony klimatu oraz zwierząt, podkreślając związek między zdrowiem człowieka, zwierząt i naszej planety. Dlatego, na początku grudnia 2020 roku, Zgromadzenie Ogólne ONZ ustanowiło dzień 27 grudnia jako *Międzynarodowy Dzień Gotowości na Pandemię*. Wskazuje to na ważność przygotowania się na przyszłe pandemie, do których przyczyniają się zmiany klimatyczne i zmiany środowiska. Konieczna jest ścisła współpraca międzynarodowa w tym zakresie.

Wirusy odzwierzęce przekraczają barierę gatunkową, co powoduje powstawanie nowych wirusów, znacznie groźniejszych dla ludzi. Interakcje człowiek – przyroda pogłębiają się na skutek zmian klimatycznych. Wpływ czynników środowiskowych na drogi przenoszenia wirusów oraz możliwości przeżycia wirusów i bakterii lekoodpornych w systemach wodnych i glebowych wydają się szczególnie istotne. Konieczne jest opracowywanie bardziej efektywnej biologicznej, chemicznej i fizycznej inaktywacji wirusów, redukującej czynniki chorobotwórcze. W tym zakresie, w ochronie zasobów wodnych, należy na szeroką skalę stosować dezynfekcję wody i ścieków, szczególnie promieniami ultrafioletowymi, których skuteczność zwiększy wprowadzenie mikrofiltracji. Wydaje się też koniecznym bardziej intensywne dezynfekowanie miejsc publicznych w aglomeracjach o dużym zaludnieniu i wysokim stopniu przypadków choroby. W związku z doniesieniami wskazującymi na występowanie nowych wirusów w ściekach, osadach i w areozolach, należy w większym stopniu unieszkodliwiać ścieki, odpady (w tym osady ściekowe), szczególnie ze szpitali, jak też oczyszczać i dezynfekować powietrze w zamkniętych pomieszczeniach. W stosunku do osadów ściekowych należy zaprzestać wykorzystywania osadów ściekowych na potrzeby rolnictwa bez ich



uprzedniej właściwej przeróbki, w tym obróbki termicznej. Problem rozwiązania końcowego zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych w Polsce stał się niesłychanie pilny. Powyższe, prawdopodobnie nie wyczerpuje wszystkich działań technicznych potrzebnych do wygrania wojny z zakaźnymi chorobami wirusowymi, z których takie jak zagospodarowanie osadów ściekowych, już dawno winny być realizowane. Z działań dodatkowych, wydaje się, że należy też rozważyć przykładowo wprowadzenie zakazu handlu dzikimi zwierzętami, przynajmniej tymczasowo, o ile występuje taka potrzeba. W zagadnieniach technologii wody, ścieków i odpadów, inżynieria środowiska zawsze odgrywała ważną rolę, a jej obecne znaczenie i działalność winny jeszcze wzrosnąć. Nauki techniczne mogą przyczynić się również do wytwarzania skuteczniejszych dezynfektantów, szeroko zakrojonej dezynfekcji przestrzeni publicznych i innych działań przeciw pandemii.

Ponieważ koronawirusy wirusy występują również w kale i moczu osób zarażonych, a tym samym na oczyszczalniach ścieków w areozolach ściekowych, ściekach i osadach ściekowych, to możliwe są również pośrednie drogi ich transmisji, przyczyniające się do rozwoju pandemii. Wydaje się koniecznym uruchomienie programu badawczo-rozwojowego nad występowaniem i drogami przenoszenia, a szczególnie nad zaawansowanymi metodami unieszkodliwiania koronawirusów z komunalnych ścieków i osadów ściekowych.

Wykrycie fragmentów koronawirusa SARS-CoV-19 w ściekach i osadach ściekowych spowodowało na świecie duże zainteresowanie się badaniem ścieków na obecność w nich koronawirusa. W 2020 roku, szereg państw podjęło badania w tym zakresie, stwierdzając obecność RNA koronawirusa w ściekach, osadach ściekowych, a nawet w wodach zanieczyszczonych odbiorników. Pomimo tego, że fragmenty te uznano za niezakaźne, to nie zmniejszyło to zainteresowania uzyskaniem danych ilościowych do ich wykorzystania w walce z pandemią COVID-19. Stwierdzono bowiem, że dane powyższe korelują z danymi przypadków klinicznych. Co więcej, wykrycie RNA koronawirusa w ściekach następuje a wcześniej niż przypadków klinicznych. Dlatego, na świecie nastąpił dynamiczny rozwój tzw. epidemiologii opartej o ścieki (ang. Wastewater-based Epidemiology – BWE).

Wyniki badań nad występowaniem koronawirusa w ściekach, osadach ściekowych i wodach zanieczyszczonych odbiorników w poszczególnych państwach są jednak bardzo trudne do porównania z wielu względów, w tym szczególnie na różną metodykę. Wydaje się, że powinna zostać przyjęta jedna metodyka analityczna badania obecności SARS-CoV-19, szczególnie w ściekach. Obecnie, badania RNA SARS-CoV-19 w ściekach wykonuje się nowoczesnymi metodami, takimi jak: metoda RT-qPCR albo metoda RT – ddPCR cyfrowego PCR kropkowego (ang. RT-Droplet Digital PCR), przy czym inne formy cyfrowego PCR są również możliwe do zastosowania, lecz są mniej powszechne.



W Unii Europejskiej, trwają prace badawcze nad możliwością wykorzystania systemów kanalizacyjnych w ewentualnym Systemie Monitorowania Ścieków na SARS-CoV-19 w Europie. W USA, wdrażany obecnie tzw. Narodowy System Nadzoru Ścieków, na szczeblu rządu federalnego Stanów Zjednoczonych, wydaje się znacznie bardziej zaawansowany, przynajmniej w sferze koncepcyjnej jego zorganizowania i wykorzystania uzyskiwanych wyników do praktycznej walki z obecną pandemią COVID-19 i przyszłymi pandemiemi, niż system w Europie. Wydaje się również, że w Polsce pierwszy pilotowy program monitoringowy ścieków na obecność SARS-CoV-19 powinien powstać w Warszawie, z uwagi na potrzeby medyczne i środowiskowe oraz istniejący w tym mieście potencjał merytoryczny. Na początku, system monitoringu mógłby obejmować 10-15 dużych komunalnych oczyszczalni ścieków, oczyszczających łącznie około 2-3 mln m<sup>3</sup>/d. Przy uwzględnieniu danej oczyszczalni w systemie rozpatrywane by były dodatkowe elementy, pozwalające na stworzenie bazy danych, analizującej wpływ zmieniających się różnych czynników medycznych, środowiskowych i demograficznych i przyczyniającej się także do zwalczania COVID-19 na terenie kraju.

Rozdział, został oparty na rozszerzonych artykułach [35-36] i stanowi wkład w uczczenie rocznicy 100-lecia „Gaz, Woda i Technika Sanitarna”.

## Bibliografia

1. Kunicki-Goldfinger W.J.H.: Życie bakterii. Wydanie czwarte zmienione. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1982.
2. Borucki M.: Wielcy zapomniani Polacy, którzy zmienili świat. Wydawnictwo Sport i Turystyka Muza SA. Warszawa 2016.
3. Safarewicz A.: O nowych prądach w sprawie oczyszczania ścieków. Pamiętnik IV Zjazdu Higienistów Polskich, s. 60. Wilno 1926.
4. Safarewicz A.: Oczyszczanie ścieków przy pomocy aerowania w obecności mułu aktywnego Pamiętnik IV Zjazdu Lekarzy i Działaczy Sanitarnych Miejskich, s. 162. Łódź 1927.
5. Gańczarczyk J.: Metoda oczyszczania ścieków metoda osadu czynnego. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1966.
6. Committee Report: Engineering evaluation of virus hazard in water. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 96, SA1, 111 1970.
7. Malina J.F. Jr., Sagik B.P. (eds): Virus survival in water and wastewater systems. Water Resources Symposium number seven. Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin. Austin 1974.
8. Gromiec M., Malina J.F. Jr.: Virus inactivation and removal by physicochemical treatment processes. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Physicochemical Water and Wastewater Treatment (ed. L. Pawłowski). Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam–Oxford–New York 1982.

9. Gromiec T.M. Gromiec M.J.: Technologia dezynfekcji wody i ścieków promieniami UV. W: Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ochrona ujęć wody przed zanieczyszczeniem – Poprawa jakości wody dla Warszawy” (red. M.J. Gromiec).Wyd. MPWiK w m.st. Warszawie, Polski Komitet Międzynarodowego Stowarzyszenia Wody – IWA, t. 24. 117-134. Warszawa 2007.
10. McKinney R.E.: Microbiology for sanitary engineers. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York-San Francisco-Toronto-London 1962.
11. McKinney R.E.: Environmental pollution control microbiology. Marcel Dekker, Inc. New York-Basel 2004.
12. Kundzewicz Z. W., Gromiec M., Iwanicki J., Kindler J., Matczak P.: Raport o zagrożeniach związanych z wodą -wprowadzenie. Polska Akademia Nauk, Nauka 1,59-62, 2014.
13. Gromiec M., Sadurski A., Zalewski M., Rowiński P.: Zagrożenia związane z jakością wody. Polska Akademia Nauk, Nauka 1,99-122, 2014.
14. Tyrrell D.A., Bynoe M.L.: Cultivation of a novel type of common-cold virus in organ culture. British Medical Journal 1, 1467-1470, 1965.
15. Tyrrell D.A., Bynoe M.L.: Some further virus isolations from common cold. British Medical Journal 1, 393-397, 1967.
16. Almeida J.D., Tyrrell D.A.J.: The morphology of three previously uncharacterized human respiratory viruses that grow in organ culture. Journal of General Virology 1, 175-178, 1967.
17. Hamre D., Procknow J.J.: Viruses isolated from natural common cold in the USA. British Medical Journal 2,1382-1385, 1961.
18. Hamre D., Procknow J.J.:A new virus isolated from the human respiratory tract. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine 1,190-193, 1966.
19. Jabłoński L. (red.): Wirusologia lekarska. Podręcznik dla studentów medycyny. Wydanie czwarte poprawione i uzupełnione. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich. Warszawa 1980.
20. Pyrc K.: Ludzkie koronawirusy. Postępy Nauk Medycznych 48, 40-54, 2015.
21. Polz-Dacewicz M.: Nowy korona wirus-SARS CoV-2. Polish Journal of Public Health 4. 113-117, 2019.
22. Yu I.T.S. et al.: Evidence of air bone transmission of severe acute respiratory syndrome virus. The New England Journal of Medicine 4, 1731-1739, 2004.
23. Pawłowski A. COVID-19 Environmental Engineering and the end of the world as we know it. Problems of Sustainable Developments 2, 7-14, 2020.
24. Wang J., Du G.: COVID may transmit through aerosol. Irish Journal of Medical Science 189, 1143-1144, 2020.
25. Morawska L., Cao J.: Airborne transmission of SARS-coV-2: The world should face the reality. Environment International 139,1-3, 2020.
26. van Doremalen N. i inn.: Aerosol and surface stability of SARS-CoV-1 as compared with SARS-CoV-2. New England Journal of Medicine 382,1564, 2020.
27. Buonanno G., Stable I., Morawska L.: Estimation of airborne viral emission: quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. Environment International 141, 2020.
28. Mikszewski A. i inn.: Airborne infection risk calculator (AIRC). User,s Manual, Version 2.0. September 2020.

29. de Lourdes Aguiar-Olivera i inn.: Wastewater-based epidemiology (WBE) and viral detection in polluted surface water: a valuable tool for COVID-19 Surveillance-a brief review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, 9251, 2020.
30. Medema G. i inn.: Presence of SARS – Coronavirus-2 in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of epidemic in Netherlands. *Environmental Science and Technology* 7, 511-516, 2020.
31. Ahmed W. i inn.: First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of the Total Environment* 1-8, 728, 2020.
32. Sinclair R.G. i inn.: Pathogen surveillance through monitoring of sewer systems. *Advanced Applied Microbiology* 65, 249-269, 2008.
33. Mollalo A., Vehedi B., Rivera K.A.: GIS based special modelling of COVID-19 incidence rate in the continental United States. *Science of the Total Environment* 728, 2020.
34. Centers for Disease Control and Prevention: National Wastewater Surveillance System (NWSS), a new public health tool to understand COVID-19 spread in a community, 2020.
35. Gromiec M.: Mikrobiologia a inżynieria sanitarna i inżynieria środowiska w kontekście pandemii COVID-19. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1/2, 7-12, 2020.
36. Gromiec M.: Drogi transmisji koronawirusów w środowisku – wykrywanie, monitoring i modelowanie. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1/2, 19-21, 2020.

## 27. Usuwanie radioaktywności na przykładzie radonu obecnego w wodzie

Obecność w kraju w wodzie substancji promieniotwórczych, w tym radonu, jest jednym ze specyficznych problemów rzutujących na jakość wody surowej. W Polsce, rutynowe pomiary w tym względzie prowadzi się zasadniczo w wodach uzdrowiskowych (region Sudetów). W kraju, rośnie jednak zainteresowanie występowaniem substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia. Przykładowo, Główny Instytut Górnictwa [1] badał na Śląsku nuklidy promieniotwórcze w wodach pitnych, co związane było z występowaniem w wodach ujęć podziemnych również izotopów radu. Natomiast, w przypadku występowania radonu w wodzie do picia, Państwowy Zakład Higieny (PZH) określał poziom radonu między innymi w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Warszawy, Pojezierza Mazurskiego, jak też Gdańskiego Regionu Hydrogeologicznego, obejmującego częściowo województwo gdańskie i elbląskie. Sudety zostały sklasyfikowane jako obszar podatny na występowanie radonu w wodach podziemnych, mającego zazwyczaj charakter nieregularny, uzależniony głównie od prędkości ruchu wody. Warto zauważyć, że o ile wartość średnia promieniowania gamma, które określa warunki radiologiczne dla środowiska, wyznaczona dla obszaru Polski wynosi około 45 nGy/h (nanogrejów), to na obszarze Kotliny Jeleniogórskiej przekracza 85 nGy/h, czego główną przyczyną jest występowanie naturalnych radionuklidów w skałach.

### 27.1. Problemy obecności radonu w wodzie

Wody radonowe, mają często charakter wód leczniczych [2], [3], a termin woda radonowa odnosi się w praktyce do zawartości radionuklidu  $^{222}\text{Ra}$ . Wody zawierające stężenia radonu 10-100 Bq/l (bekerelów) uznaje się za wody nisko-radonowe, natomiast o stężeniu 100-1000 Bq/l za wody radonowe. Występują również wody ekstremalnie radonowe, charakteryzujące się zawartością rozpuszczonego radonu w stężeniu aktywności wynoszącym co najmniej 10 000 Bq/l.

Natomiast problem rzutującym na jakość wód przeznaczonych do zaopatrzenia w wodę do spożycia przez ludność staje się nadmierne występowanie nuklidów promieniotwórczych, w tym występowanie radonu. W Polsce, radon występuje w rejonach Sudetów, gdzie badania nad występowaniem radonu i wód radonowych prowadzone były od lat 50-tych XIX wieku. Szczególna uwaga zwrócona została na ujęcia wód pitnych, przy hipotezie, że obszar Jeleniej Góry stanowi teren o podwyższonym stężeniu radonu, co wpływa na jego występowanie

również w wodzie do picia. W wodzie wszystkich ujęć, zarówno podziemnych jak i powierzchniowych, obszaru Jeleniej Góry, w Kotlinie Jeleniogórskiej, badania ilościowe stężenia radonu ( $^{222}\text{Ra}$ ) przeprowadził Zakład Ochrony Radiologicznej Państwowego Zakładu Higieny [4]. Badania radonu, oznaczanego metodą ciekłej scyntylacji cząstek alfa, wykazały, że: wody powierzchniowe (stawy zalewowe) zawierały niskie stężenie radonu wynoszące około 1,0-2,6 Bq/l, natomiast stężenie radonu w wodach pobieranych ze studni drenarskich i studniach szybowych infiltracyjnych wahało się znacznie (ok. 17-350 Bq/l). Wykonane pomiary radonu (ok.130) w wodzie wodociągowej (pobieranej z kranu), w północnych rejonach Jeleniej Góry, wskazywały na stężenia w wysokości 100-250 Bq/l. Powyższe wyniki stężeń radonu, zawartych szczególnie w wodach podziemnych, potwierdziły powyższa hipotezę.

Na obszarze Jeleniej Góry, badania stężeń naturalnych radionuklidów prowadzone były przez różne instytucje do tego powołane, między innymi przez Państwową Agencję Atomistyki (poprzez Biuro Obsługi Roszczeń b. Pracowników ZPR-1 w Jeleniej Górze), dotyczące pomiarów całkowitej promieniotwórczości alfa i beta wody oraz stężenia radonu. Wyniki pomiarów radonu w wodach pobranych z ujęć publicznych (ujęcie: Grabarów, Ceglana, Podgórzyn) na terenie Jeleniej Góry wykazały największe stężenie radonu, z badanych ujęć, na ujęciu w Grabarowie (około 224 Bq/l). Należy dodać, że wody ujęcia w Grabarowie badane były także przez wspomniany powyżej Państwowy Zakład Higieny (PZH), jak też Jeleniogórski Oddział Wojewódzkiej Stacji Sanepid we Wrocławiu i wykazywały stężenia radonu w granicach około 175-290 Bq/l przed uzdatnianiem oraz około 180-230 Bq/l po uzdatnieniu wody, przed wprowadzeniem wody do sieci wodociągowej. Stężenia radonu w wodzie pobranej w mieszkaniach odbiorców, bezpośrednio z kranu były w przedziale 100-250 Bq/l, przy wartości średniej wynoszącej około 160 Bq/l. Zwraca szczególną uwagę obecność radonu nie tylko w wodach podziemnych, ale również w wodach powierzchniowych, szczególnie w wodach rzeki Bóbr-Wojanów, świadcząca o jego przemieszczaniu się przestrzennego wraz z tymi wodami.

Należy zaznaczyć, że na świecie, problem zagrożenia promieniotwórczego skażenia wody był przedmiotem prowadzonego monitoringu oraz wielu kompleksowych programów badawczych, szczególnie w USA. Przykładem był duży program badawczy Amerykańskiej Komisji Energii Atomowej, zrealizowany na Uniwersytecie Teksasu w Austin, związany między innymi z transportem radioaktywności w systemach wodnych [5]. Badanie przemieszczania się radionuklidów w środowisku, szczególnie w środowisku wodnym, jest zadaniem niezwykle trudnym i wymaga zastosowania złożonych, skomputeryzowanych modeli matematycznych.

Problemem zaopatrzenia ludności w wodę jest natomiast występowanie radonu w wodzie surowej, przy konsekwencji jego obecności w wodzie pitnej. Radon, to radioaktywny gaz szlachetny, będący pierwiastkiem z grupy helowców, który tworzy się w skałach litosfery i rozpuszcza się w przepływającej wodzie podziemnej. Jego rozpuszczalność zmniejsza się ze wzrostem temperatury, jednakże radon nie wchodzi w reakcje chemiczne z wodą, ani z innymi składnikami rozpuszczonymi w wodzie. W wodach rzecznych jest on stosunkowo łatwo uwalniany do powietrza atmosferycznego, natomiast obecny w wodzie do picia, może uwalniać się do powietrza obecnego w pomieszczeniach mieszkalnych. Radon jest naturalnie występującym gazem radioaktywnym, wytwarzanym na skutek rozkładu elementów radu, występującym w skałach i glebach na całym świecie. Jest gazem bezwonny, bez koloru i smaku. Uznaje się, że radon występujący w wodzie do picia i w powietrzu, szczególnie w pomieszczeniach zamkniętych, stanowi ryzyko dla ludzi. Przyjmuje się jednak, że ryzyko związane z występowaniem radonu w wodzie do picia jest jednak mniejsze niż ryzyko występujące przy inhalacji z powietrza.

W Polsce, prace nad występowaniem radonu w środowisku prowadzone są od lat w wielu ośrodkach. Prace nad wprowadzeniem poziomu referencyjnego radonu w budynkach, prowadzone są przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR). Laboratorium powyższe, prowadząc monitoring radonu  $^{222}\text{Ra}$  w wodach oraz w pomieszczeniach mieszkalnych, bada również właściwości węgla aktywnego pod kątem jego zastosowania do obniżenia poziomu radonu w powietrzu [6]. Podkreślić należy, że ile prowadzone prace dotyczące usuwania radonu z powietrza, to w zasadzie nie prowadzi się prac nad technologiami usuwania radonu rozpuszczonego w wodzie. Związane jest to prawdopodobnie z założeniem, że ryzyko dla zdrowia ludzi związane jest głównie ze wspomnianym wdychaniem radonu w formie gazowej. Jako gaz, radon przedostaje się do budynków i pomieszczeń domowych za pomocą migracji z ziemi, głównie poprzez uszkodzone fundamenty domu i migracji z materiałów budowlanych.

Ryzyko związane z wodą związane jest w pewnym stopniu z produktami jego rozpadu, które uwalniane są w wodzie, w przypadku przedostania się ich do systemów zaopatrzenia w wodę. Ponieważ wody o znacznych stężeniach radonu, mogą oddziaływać na organizm człowieka, rozpoczęto w ubiegłym wieku proces oceny i uregulowania prawnego dopuszczalnych wartości stężenia radonu w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi. W przypadku występowania radonu w wodzie do picia, dla celów medycznych i zastosowania prawnego, szacowano dawki promieniowania jonizującego otrzymanego przez ludzi w ciągu okresu życia, stosując model biokinetyczny Crawforda-Browna [7], uwzględniający stężenie radonu w wodzie do picia i ilość spożywanej wody. Przy pomocy

powyższego modelu biokinetycznego i innych podobnych modeli można bowiem przeprowadzać, dla różnych warunków, obliczenia dawki promieniowania jonizującego otrzymywanego przez ludzi. Przykładowo, przyjmując założenie, że średnie stężenie radonu w wodzie do picia wynosi 200 Bq/l, a spożycie wody przez dorosłego człowieka nie przekracza małej ilości 0,3 l/dzień, to oszacowany roczny efektywny równoważnik dawki promieniowania jonizującego wynosi 0,9 mSv/rok (millisilwersów).

Światowa Organizacja Zdrowia (ang. World Health Organization – WHO), zajmuje się zagrożeniami promieniotwórczego skażenia środowiska na poziomie światowym. Według tej organizacji międzynarodowej, poziom odniesienia dla stężenia radonu (mierzonego w bekerelach) w powietrzu – wewnątrz mieszkań ustalony został w wysokości 100 Bq/m<sup>3</sup>. Natomiast, jeżeli poziom ten nie może być osiągnięty w warunkach panujących w danym kraju, to nie powinien przekraczać 300 Bq/m<sup>3</sup> [8], [9], [10]. Odpowiada to rocznej dawce równej około 10 mSv. Rekomendacje Komisji Europejskiej (90/29/Euratom) z 1990 roku [11], które dotyczyły ochrony ludzi przed radonem wewnątrz pomieszczeń, wskazywały na poziom referencyjny dla podjęcia działań w wysokości 400 Bq/m<sup>3</sup>, natomiast poziom projektowany (dla przyszłych budowli) w wysokości 200 Bq/m<sup>3</sup>. W USA, gdzie aktywność radionuklidu mierzona jest nadal w jednostkach kiur (ang. curie – Ci), Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (ang. US Environment Protection Agency-US EPA) ustanowiła poziom gazu radonu w pomieszczeniach w wysokości 4 pCi/l (pikokiur), co w zasadzie było raczej wytyczną niż standardem.

Ustanowienie standardu dla radonu w wodzie okazało się dość trudne i długotrwałe, co obrazuje najlepiej sytuacja w USA. W 1991 roku, Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (US EPA) zaproponowała limit dla wody w systemach publicznych w wysokości 300 pCi/l, jednakże amerykańskie Ministerstwo Zdrowia (ang. US Department of Health and Human Services – US DHHS) zaproponowało podniesienie tej wartości do 2 000 pCi/l, z uwagi na koszty związane z redukcją radonu. W roku 1996, Senat Kongresu Amerykańskiego zatwierdził ustawę bezpiecznej wody do picia (ang. Safe Drinking Water Act) i zlecił Amerykańskiej Akademii Nauk (ang. National Academy of Sciences – NAS) przeprowadzenie oceny ryzyka związanego z obecnością radonu w wodzie. Raport NAS, opublikowany w 1998 roku, rekomendował tzw. maksymalny poziom zanieczyszczenia (ang. MCL) w wysokości 4000 pCi/l dla publicznego zaopatrzenia w wodę. US EPA, ponownie rozpoczęła wówczas proces ustanowienia standardów dla radonu w systemach publicznego zaopatrzenia w wodę, który nie obejmował jednak studni domów prywatnych. W 1999 roku, US EPA zaproponowała maksymalny poziom zanieczyszczenia (MCL) w wysokości 300 pCi/l oraz tzw. alternatywny poziom zanieczyszczenia (AMCL) w wysokości 4000 pCi/l, który



związany był ze stężeniem radonu występującym w pomieszczeniach mieszkalnych. Oznaczało to możliwość dostarczania wody o stężeniu na poziomie nie wyższym niż 4 000 pCi/l, jeżeli podejmie się działania pozwalające uzyskać stężenie radonu w wysokości 0,4 pCi/l w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych. Wytyczną w stosunku do maksymalnego narażenia radonem w wodzie do picia, wynoszącą 4 000 pCi/l, przyjął przykładowo amerykański stan Maine, we wrześniu 2016 roku. Należy zauważyć, że przyjęcie stężenia radonu w wodzie w wysokości 300 pCi/l pozwala uzyskać stężenie 0,03 pCi/l w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych.

W wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia – WHO z 2004 roku, w stosunku do zagrożenia radonem wody stwierdzono, że jeżeli całkowita aktywność alfa nie przekracza 0,5 Bq/l oraz beta 1,0 Bq/l, to woda nadaje się do picia, natomiast w przypadku przekroczenia którejś z wartości, to jeśli obliczona sumaryczna dawka wchłonięcia radionuklidów przekracza wartość 0,1 mSv/rok to woda nie powinna być spożywana i należy wprowadzić dodatkowe procesy jej uzdatniania.

Na poziomie Wspólnoty Europejskiej ustanowienie standardu dla poziomu radonu w wodzie do picia również nie było łatwe. W 1966 roku, została przyjęta dyrektywa Rady 96/29/Euratom [12], która ustanowiła normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony zdrowia pracowników i ogółu społeczeństwa przed zagrożenia wynikającymi z promieniowania jonizującego, harmonizująca przepisy prawne między państwami członkowskimi w tym zakresie. Dyrektywa Rady 98/83/EWG z 1998 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [13] obejmowała radioaktywność tylko w postaci parametrów wskaźnikowych, natomiast radon i jego produkty rozkładu nie zostały w niej uwzględnione. Uwzględniona natomiast została dawka izotopu trytu, która wynosiła 100 Bq/l, natomiast całkowita dawka wskaźnikowa (indykatoryjna) 0,1 mSv/rok, dotyczyła izotopów promieniotwórczych, z wyłączeniem trytu, potasu oraz radonu i produktów rozkładu radonu.

W rekomendacjach Komisji Europejskiej 2001/928/Euratom [14] dla systemów zaopatrzenia w wodę, w państwach członkowskich, zaproponowano, że o ile poziom radonu jest powyżej 1000 Bq/l, to wymagane są działania naprawcze, uzasadnione ochroną radiologiczną. W tym przypadku, poziom ten jest on zbliżony do poziomu ryzyka wdychanego powietrza zawierającego radon w wysokości 200 Bq/m<sup>3</sup>. Natomiast, gdy poziom radonu w wodzie jest wyższy niż 100 Bq/l (a poniżej 1000 Bq/l), to władze lokalne winny ustalić czy poziom ten stanowi ryzyko dla ludzkiego zdrowia, a jeżeli rezultat jest pozytywny – to podjąć stosowne działania. Można uznać, że stanowiło to w zasadzie arbitralne podejście. Przykładowo w Irlandii przyjęto, że jeżeli poziom radonu w publicznym zaopatrzeniu w wodę przekracza 500 Bq/l, to uzasadnione jest podjęcie działań związanych z ochroną ludzkiego zdrowia. Wynikało wówczas z tego, że samo państwo

członkowskie winno określić charakter i skalę narażenia radonem w zbiorowym zaopatrzeniu w wodę.

W kraju w ostatnim czasie, nastąpił postęp w sprawie wymagań prawnych dotyczących radonu w wodzie do picia. W Polsce, wymagania jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi określa aktualnie Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 roku [15]. W rozporządzeniu tym nastąpiło wdrożenie dyrektywy Rady 98/83/WE z 1998 roku oraz dyrektywy Rady 2013/51/Euratom z dnia 22 października 2013 roku – określającą wymogi dotyczące zdrowia ludności w odniesieniu do substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi [16]. W stosunku do radonu określona przez Ministerstwo Zdrowia wartość parametryczna wynosi 100 Bq/l, natomiast stężenie pochodne dla naturalnych izotopów promieniotwórczych: Ra 226 – 0,5 Bq/l, a dla Ra 228 – 0,2 Bq/l. Określono również stężenia aktywności radonu ( $^{222}\text{Rn}$ ) w wodzie oraz stopień narażenia:

- < 10 Bq/l – narażenia brak lub znikome,
- > 10 < 100 Bq/l – narażenie niskie,
- > 100 < 1000 Bq/l – narażenie średnie,

jak też minimalne częstotliwości pobierania próbek wody.

Przy stężeniu o narażeniu średnim (> 100 < 1000 Bq/l) należy ocenić czy obecność zagraża zdrowiu ludzi. W przypadku stwierdzenia, że następuje zagrożenie dla zdrowia ludzi to należy podjąć działania naprawcze służące poprawie jakości wody do poziomu zgodnego z wymogami dotyczącymi ochrony zdrowia ludzi przed promieniowaniem. Oznacza to zaopatrzenie ludności w wodę o stężeniu radonu do wysokości stężenia 100 Bq/l w wodzie doprowadzanej do sieci wodociągowej. Związane z tym jest badanie wody aktywności radonu w wodzie, a minimalne częstotliwości pobierania i badania próbek wody zależą od aktywności radonu, a mianowicie:

< 10 Bq/l – badanie raz na 10 lat,

> 10 < 100 Bq/l – badanie raz na 2 lata, gdy stężenie 50-100 Bq/l,

> 100 < 1000 Bq/l – należy ocenić czy obecność radonu stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi i podjąć działania służące poprawie jakości wody do poziomu zgodnego z wymogami.

## 27.2. Metody usuwania radonu z wody

Ponieważ w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2017 roku [15] podana została tzw. wartość parametryczna dla wody pitnej, która oznacza wartość w ramach których woda spożywana przez ludzi jest zgodna z przepisami. Jeżeli wartość parametryczna jest przekroczona to należy ocenić poziom ryzyka związanego

z obecnością radonu i podjąć działania naprawcze, aby zapewnić zgodność z przepisami. Ponieważ w rozporządzeniu powyższym określone zostało stężenie aktywności radonu ( $^{222}\text{Ra}$ ) jako wartość parametryczna, należy rozważyć wyposażenie stacji uzdatniania wody (SUW) w rozwiązanie techniczne, związane z ochroną ludności przed działaniem radonu. W przypadku projektowania nowych rozwiązań technicznych związanych zagrożeniami radiologicznymi występującymi w danej wodzie, należy wziąć pod uwagę, że samo badanie poziomu radonu nie dostarcza jednak wiedzy o obecności w wodzie innych radionuklidów, przykładowo radionuklidów uranu czy radu, które mogą znajdować się w wodzie. Wydaje się jednak, że w przypadku pewnych ujęć wody, radon, od szeregu lat, stanowi istotę problemu, o czym świadczą mają dotychczas wykonane w tym celu badania.

Możliwości zastosowania działalności technicznych usuwania radonu z wody związane są głównie z charakterystyką fizyczno-chemiczną samego radonu. Dlatego, czasami rozważa się zastosowanie stosunkowo prostych technik, jak również właściwych metod planowania i zarządzania systemami zaopatrzenia w wodę, co w zasadzie może nie przynieść wymaganych rezultatów, z uwagi na obszar objęty występowaniem radonu. W ramach tzw. prostych technik, przykładowo podaje się, że magazynowanie wody powoduje uwolnienie się radonu do powietrza, ale przez pierwsze dwa dni usuwa się tylko niewielkie ilości (do około 20%) początkowej radioaktywności radonu i w związku z powyższym nie uwzględnia się w praktyce ich zastosowania.

Przy rozważaniu technologii usuwania radonu z wody istotne jest wzięcie pod uwagę jego charakterystykę promieniotwórczości. Radon powstaje w wyniku rozpadu promieniotwórczego radu ( $^{226}\text{Ra}$ ), który z kolei jest jednym z produktów promieniotwórczego uranu ( $^{210}\text{R}$ ). O ile okres półtrwania ( $t_{1/2}$ ) wynosi 1622 lat dla radu, to okres półtrwania dla radonu ( $s$ ) wynosi 3,82 d. Znając okres półtrwania można obliczyć stałą rozpadu przy pomocy wzoru:

$$M(t) = M(o) \exp(-s t)$$

gdzie:

$M(t)$  – masa czy stężenie w czasie  $t$

$M(o)$  – początkowa masa czy stężenie

$t$  – czas;  $s$  – stała rozkładu.

Z obliczenia wynika, że stała rozkładu wynosi 0,18/d.

Niektóre produkty rozpadu radonu, stanowiące radioaktywne izotopy, posiadają jeszcze krótsze okresy półtrwania, przykładowo  $^{210}\text{Ra}$  ma okres półtrwania w wysokości 2,4 h. Istotna jest również rozpuszczalność radonu w wodzie, która wynosi  $230 \text{ cm}^3 / \text{l}$  w temperaturze  $20^\circ \text{C}$ , wpływając na wielkość transferu gazu do wody. Współczynnik dyfuzji radonu w wodzie wynosi  $1,2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ,

natomiast współczynnik dyfuzji radu w powietrzu wynosi  $1,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . Uwalnianie się radonu może też scharakteryzować tzw. stała Prawa Henrego wynosząca dla radonu  $2,26 \times 10^3$ .

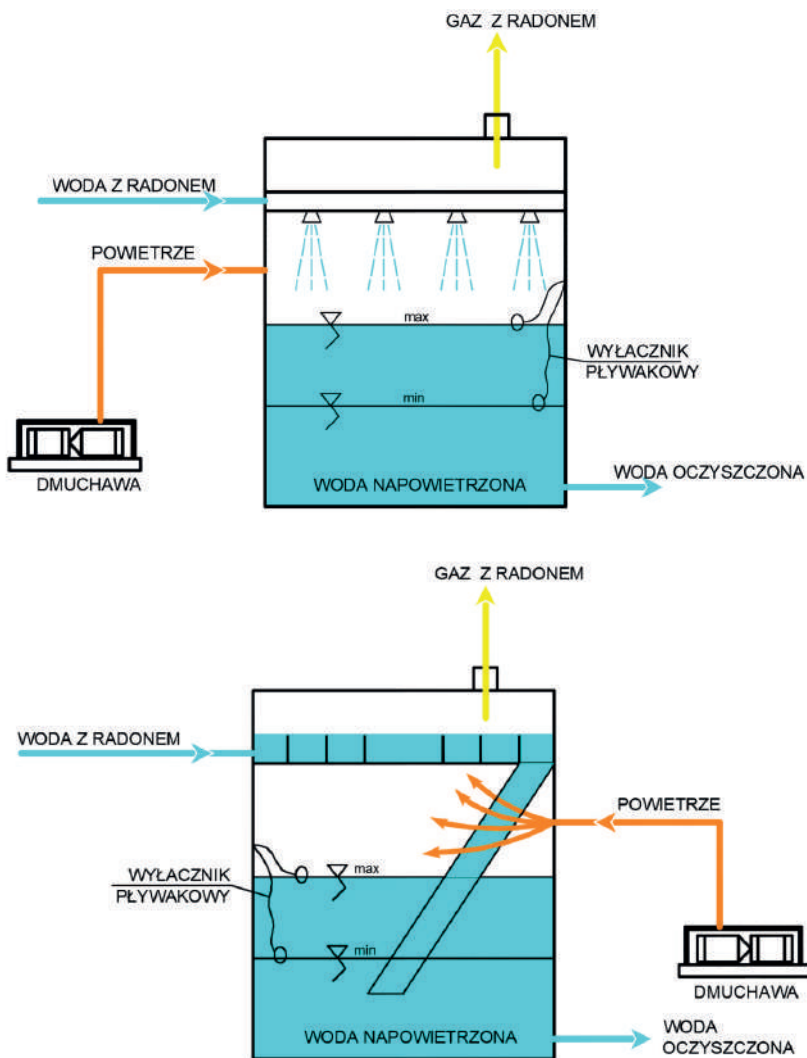
Przeprowadzono analizę stosowanych metod praktycznych usuwania radonu z wody, w oparciu o informacje w tym zakresie uzyskane z następujących organizacji: Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska – US EPA [17], [18], Fińskiej Agencji Radiacji i Bezpieczeństwa Nuklearnego-STUK [19] oraz Inspektoratu Wody Pitnej Wielkiej Brytanii [20]. Uwzględniono również doświadczenia praktyczne amerykańskich jednostek badawczych z usuwania radonu, takich jak: Uniwersytet Stanowy Pensylwani [21], Instytut Zasobów Wodnych Uniwersytetu A&M [22] oraz porównanie metod usuwania naturalnej radioaktywności dla zasobów wody pitnej [23]. Z prac tych wynika, że stosowane opcje technologiczne do usuwania radonu z wody do picia w praktyce obejmują głównie napowietrzanie i adsorpcję na różnych mediach, chociaż do usuwania radonu z wody badane były również inne technologie, takie jak odwrócona osmoza, nanofiltracja czy wymiana jonowa. Stwierdzono też, że pewne filtry usuwające mangan i żelazo są zdolne do usuwania radonu. Zaznaczyć należy jednak, że przed zastosowaniem danej technologii do usuwania radonu z wody, przeprowadzono badania skuteczności działania metody, obejmujące testy laboratoryjne i/lub badania pilotowe.

Propozycja zastosowania urządzeń do usuwania radonu z wody w ciągu technologicznym wymaga przeanalizowania możliwych do praktycznego zastosowania sprawdzonych rozwiązań technologicznych, wynikających z analizy powyższych materiałów źródłowych [17-23]. Z analizy wynika, że obecnie praktycznymi i sprawdzonymi rozwiązaniami stosowanymi usuwania radonu z wody wodociągowej są technologie, takie jak;

- zastosowanie napowietrzania wody,
- zastosowanie węgla aktywnego,
- zastosowanie napowietrzania wody oraz węgla aktywnego.

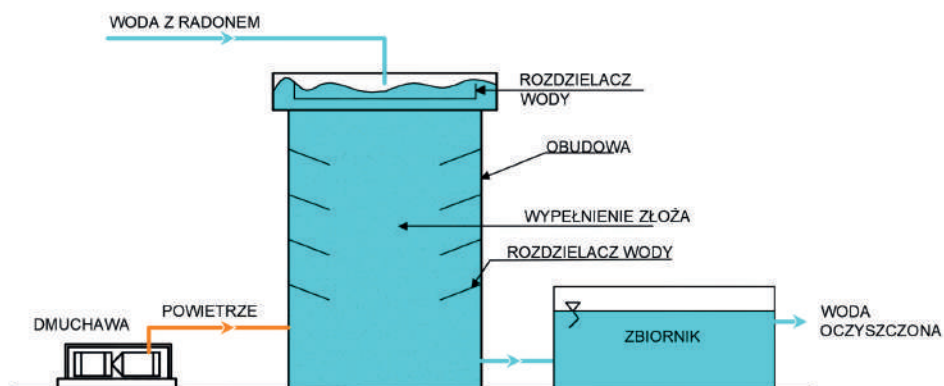
Analiza zastosowania **napowietrzania wody** do odpędzania radonu rozpuszczonego w wodzie wskazuje, że jest to obecnie metoda sprawdzona pod względem praktycznym i najpopularniejsza, ponieważ radon, jako gaz cięższy od powietrza, jest stosunkowo łatwo usuwany poprzez napowietrzanie. Przykładowe rozwiązania przedstawiono na rys. 1-2.

Metodę uznano w USA jako najlepszą dostępną technologię (ang. BAT) w tym zakresie. Rozróżnia się następujące systemy napowietrzania wody: napowietrzanie rozpryskowe (ang. spray aeration), napowietrzanie w kolumnach z wypełnieniem (ang. packed column) oraz napowietrzanie z płytkim korytem (ang. shallow tray). W **napowietrzaniu rozpryskowym**, woda zawierająca radon spryskiwana jest za pomocą dyszy do rozbryzgiwania, woda odpływa do zbiornika, a z wody



Rys. 27.1. Rodzaje napowietrzania: rozbryzgowe, z korytem płytkim (21)

uwalnia się radon, który dmuchowa powietrza poprzez odpowietrznik odprowadza na zewnątrz. Na początku spryskiwania usuwa się zazwyczaj tylko około część stężenia radonu, ale efektywność zwiększa się wraz z czasem, jak też ze zwiększeniem krotności spryskiwania. Przy zastosowaniu **napowietrzania przy pomocy kolumny z wypełnieniem**, woda zawierająca radon doprowadzana jest do górnej części kolumny, a z dolnej części kolumny odpływa woda o zredukowanym stężeniu radonu, natomiast odpowietrznik odprowadza radon na zewnątrz. Efektywność usuwania radonu w tym systemie wynosi do 90–95%, chociaż uznano system za



Rys. 27. 2. Przykładowe rozwiązanie napowietrzania rozbryzgowego do usuwania radonu (22)

mało praktyczny gdy stężenie radonu w wodzie jest powyżej 20 000 pCi/l. Wraz z upływem czasu, występuje również możliwość tworzenia się błony biologicznej na wypełnieniu kolumny, a nawet powstawania kamienia, w przypadku nadmiernej twardości wody. Niezbędne jest uprzednie usunięcie żelaza i manganu z wody, jak i  $\text{CO}_2$  powodującego korozję. **System napowietrzania z płytkim korytem** uzyskuje wysoka efektywność usuwania radonu z wody i może usunąć 99% radonu z wody. W systemie woda z radonem doprowadzana jest do koryta z otworkami, z którego dopływa do zbiornika, a radon przy pomocy dmuchawy odprowadzany jest przez odpowietrznik na zewnątrz. Aby uzyskać wysokie usunięcie radonu z wody, system wymaga więcej powietrza dostarczanego na minutę niż inne systemy, ale nie jest podatny na tworzenie się kamienia.

Radon może być absorbowany przez **węgiel aktywny**, a ponieważ jest chemicznie inercyjny to proces stanowi czystą chemicznie adsorpcję, której szybkość może być opisana za pomocą równania kinetycznego pierwszego rzędu. Zastosowanie węgla aktywnego usuwania radonu z wody wymaga zaprojektowania kolumny z granulowanym węglem aktywnym (ang. granular activated karbon – GAC). Efektywność tego procesu w usuwaniu radonu z wody zależy od rodzaju węgla oraz wielu parametrów, w tym między innymi od: pH i temperatury wody, zawartości i stężeń chemikaliów w wodzie, natężenia i czasu przepływu wody. Przykładowo, spadek temperatury i pH powoduje wzrost szybkości adsorpcji. Woda doprowadzana do kolumny z GAC musi być wolna od baterii czy zawiesin. Wraz z upływem czasu, wypełnienie węglem aktywnym staje się radioaktywne i wymaga wymiany. Unieszkodliwianie zużytego węgla może stanowić problem

i węgiel ten winien być testowany na poziom radioaktywności, co determinuje przyjęcie odpowiedniej metody jego unieszkodliwienia. Problemem może być również fakt, że radioaktywność przy filtrze węglowym może osiągać poziom dawki gamma do stężenia 100 mikroSv/h, a rekomendowany poziom jest w wysokości 1 mikroSv/h, co oznacza konieczność wprowadzenia specjalnej osłony dla kolumny, chroniącej przed promieniowaniem gamma.

US EPA badała **zastosowanie różnych systemów napowietrzania oraz filtrów z granulowanym węglem aktywnym** do wody zawierającej powyżej 300 Bq/l radonu. Badania wykazały, że o ile usuwanie radonu z wody za pomocą systemów napowietrzania było efektywne, to redukcja za pomocą GAT obniżała się z czasem, o ponad 10%. Uległa ona poprawie, gdy system GAT poprzedzony został procesem wymiany jonowej, ale z czasem redukcja przez GAT nadal obniżyła się o 15%. Świadczy to o możliwości zmniejszania się, z upływem czasu, zdolności węgla aktywnego do adsorpcji radioaktywności oraz o sukcesywnej adsorpcji na węglu aktywnym różnych pierwiastków, obecnych w wodzie, nawet po jej uzdatnieniu.

### Wybrane definicje i jednostki:

Aktywność radionuklidu – mierzona jest w bekerelach (Bq), gdzie *bekerelel* równa się jednej przemianie jądrowej na sekundę

1Bq = 1 rozpad/ s

Dawka pochłonięta to energia pochłonięta na jednostkę masy

*Grej* (Gy) – jednostka dawki pochłoniętej (1 rad= 0,01 Gy)

Dawka graniczna wyrażona jako dawka skuteczna dla narażonych osób wynosi 100 millisiewersów (mSv) w kolejnym okresie pięciu lat, z maksymalną skuteczną dawką 50 mSv w każdym roku

Sivert to jednostka wyrażająca ilość energii promieniowania, pochłonięta przez żywą tkankę w relacji do skutków promieniowania

Sivert – nazwa jednostki dawki równoważnej lub skutecznej, a jeden siwert (Sv) odpowiada jednemu dżulowi na kg (1Sv= 1 J/kg);

1 sivert (Sv) = 1 000 milliSvert (mSv) = 1 000 000 mikroSivert

1 rentgen (R) = 1 000 mR =10 mSv

W przypadku gdy normalna dawka promieniowania wynosi 3,5 mSv, to 3,5: (365 dni x 24 h) = 0,00039954 mSv/h = 0,39954 mikroSv/h

Aktywność radionuklidów mierzona w jednostkach **kiur** (**curie-Ci**) jest stosowane w USA i wyrażana w picoCi (pCi)

1 curie (Ci) = 3,7 x 10<sup>10</sup> Bq = 37 GBq 1 picocurie (pCi) = 10<sup>-12</sup> Ci

1 bekerel (Bq) = 2,7 x 10<sup>11</sup> Ci 1 picocurie/l (pCi) = 37 Bq/m<sup>3</sup>



### 27. 3. Podsumowanie

W podsumowaniu można stwierdzić, że o ile w światowym prawodawstwie związanym z usuwaniem radonu łączono jego występowanie w wodzie do picia z obecnością w powietrzu pomieszczeń, to obecnie w światowych i krajowych przepisach prawnych podano konkretne wymogi w stosunku do zawartości radonu w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, co powoduje konieczność podjęcia stosownych działań, gdy zachodzi taka konieczność. Zazwyczaj występują dwie praktyczne możliwości usuwania radonu z wody, to jest technologia napowietrzania i technologia absorpcji na węglu aktywnym. Jako stosunkowo proste rozwiązanie przyjmuje się zazwyczaj technologię związaną z napowietrzaniem wody, a tym samym z odprowadzaniem uwolnionego z wody radonu w postaci gazu. Zastosowanie tylko napowietrzania, nie wyklucza wprowadzeniu węgla aktywnego, jeżeli zachodzi taka potrzeba, spowodowana przykładowo nowymi przepisami, które jak wskazano uprzednio nie są w tej sprawie stabilne.

### Bibliografia

1. Chmielewska I. i inni: Nuklidy promieniotwórcze w wodach pitnych na Śląsku. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko 2, 29-37, 2011
2. Przylibski T., Adamczyk-Lorenc., Żak S.: Obszary występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych w Sudetach. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa 2007.
3. Ciężkowski W. i inni: Wody lecznicze regionu sudeckiego –wybrane problemy. Przegląd Geologiczny 64,9, 671-681, 2016.
4. Pachowski K.A. i inni: Radon  $^{222}\text{Ra}$  w wodzie do picia z obszaru Jeleniej Góry. Roczn. PZH 52, 3, 237-246, 2001.
5. Gromiec M. J., Gloyna E.F.: Radioactivity transport in water. Report to the US Atomic Energy Commission CRWR-97. Center for Research in Water Resources. Austin, Texas, USA, 1973.
6. Raport roczny, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Warszawa 2018.
7. Crawford-Brown D.J.: The biokinetics and dosimetry of radon-222 in the human body following ingestion of ground water. Environmental Geochemical Health 11, 10-17, 1989.
8. Guidelines for drinking -water quality. Third edition. World Health Organisation. Geneva 2004.
9. WHO Handbook on indoor radon: A public health perspective. World Health Organization, Geneva 2009
10. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. World Health Organization, Geneva 2011. Wytyczne dotyczące jakości wody do picia; Wydanie czwarte (tłumaczenie wytycznych WHO). Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”. Bydgoszcz 2014.
11. Commission Recommendation of 21 February 1990 on protection of the public against indoor exposure to radon (90/143/ Euratom). Official Journal of European Communities L80/26, 27.3.90.

12. Council directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of health of workers and general public against the dangers arising from ionizing radiation. Official Journal of European Communities L159/1, 29.6.96.
13. Council directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of European Communities L320/32, 5.12.98.
14. Commission Recommendation of 20 December 2001 on the protection of public against exposure of radon in drinking water supplies (2001/928/Euratom). Official Journal of European Communities L344/85, 28.12.2001.
15. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7.12.2017 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. poz. 2294, 11.12.2017.
16. Rozporządzenie Rady 2013/51/EURATOM z dnia 22 pa ździernika 2013 określającą wymogi dotyczące ochrony zdrowia ludności w odniesieniu do substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U UE L 296 z 07.11.2013.
17. US EPA: Technologies and costs for the removal of radon from drinking water. Public comment. Office of Water, EPA 815-D-99-004, 1999.
18. US EPA: A regulations guide to the management of radioactive residuals from drinking water treatment treatment technologies. Office of Water, EPA 816-R-05-004, 2005.
19. Annanmaki M., Turtiainen (eds.): Treatment techniques for removing natural radionuclides from drinking water. Final report of the TENAWA project, Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK-A169), Helsinki 2000.
20. RICRDO-AEA: Understanding the implications of the EC proposals relating to radon in drinking water for the UK. Final report for Drinking Water Inspectorate (DWI), 2015.
21. Robillard P.D. i inni: Reducing radon in drinking water. The College of Agricultural Sciences, Pennsylvania State University, 2001; Penn State Extension, 2012.
22. Lasikar B.J. i inni: Drinking water problems. Texas A&M, Water Resource Institute. Lubbock 2006.
23. Esmerny E., Aydin M. E.: Comparison of natural radioactivity removal methods for drinking water supplies: A review. Journal International Environmental Application and Science 3,3,142-146, 2008.

## 28. Tworzywa sztuczne a woda

Wyzwania dotyczące tworzyw sztucznych mają w coraz większym stopniu charakter globalny. Jednym z głównych kategorii odpadów z tworzyw sztucznych przedostających się do środowiska są artykuły jednorazowego użytku. Równocześnie do środowiska uwalnianych jest łącznie 75-500 ton/rok mikrodrobin plastiku. Problem obecności mikroplastików w środowiskach wodnych jest stosunkowo nowy, chociaż ich obecności w organizmach żywych ekosystemów wodnych znany był od połowy zeszłego wieku. Ostatnio okazało się, że woda w plastikowych butelkach może zawierać mikrocząsteczki plastiku (mikroplastiki – cząstki tworzyw sztucznych <1-5 mm), do czego dochodzi również możliwy aspekt toksyczny, bowiem do produkcji PET używany jest niebezpieczny antymon. Mikroplastiki przedostają się do wszystkich rodzajów wód, w tym morskich, jak i organizmów. W 2020 roku, badania Uniwersytetu w Queensland, wykazały, że całkowite stężenie mikroplastików w organizmach morskich waha się od 0,04 mg/g produktu w kalmarach i 0,07 mg/g produktu w krewetkach, do 2,9 mg/g produktu w sardynkach. Problem mikroplastików, jako zanieczyszczeń środowiska wodnego, w piśmiennictwie krajowym przedstawiła między innymi Mrowiec [1] oraz Wąsowski i Bogdanowicz [2]. Możliwości usuwania mikroplastików ze ścieków na filtrach tkaninowych zostały zaprezentowane w rozdziale 18. Należy dodać, że na problem występowania mikroplastików w środowisku nakłada się również problem tworzyw sztucznych związany ze wzrostem sprzedaży wody butelkowanej, który został przedstawiony w tym rozdziale.

### 28.1. Aspekty prawne

Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym, w dokumentach unijnych [3-4], została przedstawiona w rozdziale 20, głównie w aspekcie jej zastosowania w gospodarce wodno-ściekowej. Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), zwana również gospodarką cyrkulacyjną. Ma szczególne zastosowanie w gospodarce odpadami, szczególnie z tworzyw sztucznych. Dlatego, już w styczniu 2018 roku przedstawiono europejską strategię na rzecz tworzyw sztucznych w gospodarce cyrkulacyjnej [5]. W Preambule do tej strategii stwierdzono, że chociaż w sektorze opakowań tworzywa sztuczne zapewniają bezpieczeństwo żywności, to obecnie metody ich produkcji, stosowania i usuwania szkodzą środowisku. W czerwcu 2019 roku wydano dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (2019/904/ UE) w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko [6], której celem jest zapobieganie negatywnego oddziaływania tych produktów szczególnie na środowisko wodne i na zdrowie człowieka. Dyrektywa

ma zastosowanie do produktów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych, za które uznano między innymi butelki na napoje, należące do odpadów i jako takie najczęściej są wyrzucane. Zgodnie z dyrektywą państwa członkowskie mają zapewnić, aby butelki na napoje, których głównym składnikiem jest politereftalan etylu (PET) zawierały:

- co najmniej 25% tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu – do 2025 roku,
- co najmniej 30% tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu – do 2030 roku.

Powyższe wartości winny być obliczane jako średnia dla wszystkich takich butelek na napoje wprowadzanych do obrotu na terenie państwa, jako:

- co najmniej 25% tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu – do 2025 roku,
- co najmniej 30% tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu – do 2030 roku.

## **28.2. Aspekty środowiskowe**

Od lat 60. XX wieku, produkcja tworzyw sztucznych na świecie wzrosła ponad 20 razy i w 2015 roku wynosiła 322 mln ton, a obroty osiągnęły wartość 340 mln Euro. Produkcja ta wzrasta w szybkim tempie, bowiem w 2018 roku wynosiła 359 mln ton, czyli w okresie 2015-2018 wzrosła o 37 mln ton. Odpady z tworzyw sztucznych dostają się do środowiska z wielu źródeł na lądzie i na wodzie, a miliony ton tych odpadów trafiają do oceanów. Szacuje się, że na świecie, przedostaje się do oceanów od 5-13 mln ton/ rok tworzyw sztucznych [7], natomiast z państw członkowskich Unii Europejskiej trafia do oceanów 150-500 tys. ton/rok tych odpadów, w tym 75-300 tys. ton mikrodrobin plastiku. Światowa produkcja tworzyw sztucznych i spalanie odpadów z tworzyw sztucznych generowały około 400 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie (w roku 2012). Potencjalne roczne oszczędności energii, jakie można by osiągnąć w wyniku recykulacji wszystkich odpadów z tworzyw sztucznych, oszacowano w ilości odpowiadającej rocznie 3,5 mld baryłek ropy, przy czym baryłka ropy to 159 litrów.

## **28.3. Problem butelek plastikowych w aspekcie środowiskowym**

Problem butelek plastikowych w skali globalnej, został nagłośniony między innymi przez Instytut Polityki Ziemi (ang. Earth Policy Institute) – niezależną organizację ekologiczną w Waszyngtonie, założoną w 2001 roku. Na świecie i w kraju, rośnie w dużym tempie sprzedaż wody, w formie wody butelkowanej, co w znacznym stopniu związane jest z obawą społeczeństw przed pić wody wodociągowej. Na powyższą sytuację, być może wpływa również zła edukacja

ekologiczna w tym zakresie. Nie ma też całkowitej gwarancji, że wszystkie produkowane wody butelkowane na świecie są zdrowsze niż woda wodociągowa.

Komisja Europejska zamierza promować dostęp obywateli Unii Europejskiej do wody wodociągowej, uważając, że przyczyni się to do ograniczenia zapotrzebowania na wodę butelkowaną. W Polsce, przedsiębiorstwa wodociągowe same od dawna prowadzą reklamę produkowanej wody, choć robią to w zasadzie ze względów ekonomicznych związanych ze spadkiem zapotrzebowania na wodę wodociągową. Negatywne skutki środowiskowe, związane z butelkowaniem wody są znaczne, ponieważ butelkowana woda do picia w większości dystrybuowana jest w butelkach plastikowych, a do produkcji tych butelek najczęściej używane jest tworzywo w postaci polipropylenu (PP) czy politereftalnu etylu (PET). Pomimo tego iż znane są metody recyklingu butelek PET, to opróżnione butelki w większości stają się odpadami.

Do produkcji i transportu butelek plastikowych zużywa się duże ilości energii, co zwiększa tzw. ślad węglowy. Oszacowano, że ślad węglowy półlitrowej butelki plastikowej wynosi około 85 g CO<sub>2</sub>, a wytwarzany globalny ślad węglowy jest znaczny, bowiem do produkcji tych butelek zużywane jest rocznie około 3 mln ton tworzywa PET, co jest równoważne około 50 mln baryłek ropy [8]. Spełnienie zapotrzebowania na wodę butelkowaną w 2004 roku tylko w USA, w ilości 26 mld litrów wody, wymagało 17 mln baryłek ropy rocznie, co wystarczyło by dla 1 mln samochodów przez rok. Na świecie zużywa się rocznie około 2,7 mln ton plastiku na butelki plastikowe. Spalanie zużytych butelek plastikowych produkuje szereg toksycznych produktów wtórnych, przykładowo takich jak gaz chlorowy, czy popiół z toksycznymi metalami ciężkimi. Również transport wody butelkowanej zużywa olbrzymie ilości paliw kopalnianych, ponieważ woda ta transportowana jest nie tylko na bliskie, ale też często na bardzo dalekie odległości. Przykładowo, fińska „Nord Water” transportowana jest około 4300 km z fabryki w Helsinkach do Arabii Saudyjskiej.

W skali globalnej największe wzrosty w konsumpcji wody butelkowanej nastąpiły w państwach rozwijających, gdzie jakość wody wodociągowej jest niska i występują jej ograniczenia. W 2018 roku, konsumpcja wody butelkowanej na mieszkańca była największa w Meksyku i w Tajlandii, gdzie wynosiła po 274 litry, natomiast w USA, gdzie 94% wody butelkowanej produkowane jest lokalnie, a część transportowana nawet z Fiji, była o 42% niższa i wynosiła 160 l/MW Unii Europejskiej średnia konsumpcja wody butelkowanej w 2017 roku wynosiła 117 litrów/mieszkańca (l/M), przy czym przykładowo: Włochy – 188 l/M, Niemcy – 175 l/M, a Polska – 99 l/M).

W Polsce, według Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), w 2018 roku wyprodukowano około 46,5 mln hektolitrów wód mineralnych, gazowanych

niesłodzonych i niearomatycznych, co stanowiło ponad 60% całkowitej produkcji wód. Prawie cała krajowa produkcja przeznaczona jest na rynek wewnętrzny i ciągle rośnie. Woda stanowi drugą największą kategorię tzw. dóbr zbywalnych pod względem wartościowym. Oszacowano, że w przeciętnym polskim gospodarstwie domowym kupuje się rocznie około 220 litrów wody, która jest w większości w butelkach plastikowych. Przy zwiększonej produkcji i dystrybucji wody w butelkach plastikowych, Polsce grozi „zalew” butelek plastikowych po wodzie i innych napojach.

Państwa członkowskie UE wprowadzą w życie przepisy ustawowe, wykonawcze i administracyjne niezbędne do wykonania dyrektywy 2019/904/UE, do dnia 3 lipca 2021 roku. Dodać należy, że dyrektywa dokonała podziału na grupy produkty jednorazowe z tworzyw sztucznych, których dotyczą podane w niej działania. Przykładowo, butelki na napoje o pojemności do 3 litrów. Działanie te to przede wszystkim selektywna zbiórka, która do 2025 roku ma objąć wagowo 90% jednorazowych butelek wprowadzanych do obrotu. Dla osiągnięcia powyższego celu, państwa członkowskie mogą między innymi:

- ustanowić systemy zwrotu kaucji,
- ustanowić cele w zakresie selektywnego zbierania w odniesieniu do odpowiednich systemów rozszerzonej odpowiedzialności producenta.

#### **28.4. Aspekty techniczne systemu kaucyjnego**

Europejski Pakiet Gospodarki o Obiegu Zamkniętym – GOZ (2018) oraz Dyrektywa dotycząca niektórych produktów i opakowań z tworzyw sztucznych z 2019 roku [7], dały impuls do implementowania systemów kaucyjnych w wielu innych państwach europejskich (nie tylko w państwach członkowskich Wspólnoty Europejskiej). Decyzje o wprowadzeniu obowiązkowych systemów kaucyjnych na opakowania jednorazowe podjęły dotychczas: Malta, Białoruś, Szwecja, Portugalia, Rumunia, Słowacja, Turcja, Łotwa i Anglia.

Systemy kaucyjne (depozytowe) są sprawdzonym sposobem uzyskania wysokich poziomów zbiórki dla ponownego użytkowania lub recyklingu opakowań po napojach. Od 1984 roku, gdy Szwecja – jako pierwsza wprowadziła kaucje na jednorazowe opakowania po napojach, do 2018 roku, systemy kaucyjne na opakowania jednorazowe wprowadzono w dziesięciu państwach europejskich, takich jak: Islandia (1986), Finlandia (1996), Norwegia (1999), Dania (2002), Niemcy (2003), Estonia (2005), Holandia (2005), Chorwacja (2005) oraz Litwa (2016).

Większość europejskich systemów kaucyjnych na jednorazowe opakowania po napojach jest zarządzanych przez producentów, w ramach Rozszerzonej

Odpowiedzialności Producentów (ROP) oraz ma scentralizowany system rozliczeń, który bazuje w głównej mierze na punktach zbiorki w obiektach handlowych i stosuje sprawozdawczość na bazie kodu kreskowego opakowania. Systemy kaucyjne w oparciu o te parametry będą również wprowadzone w: Szkocji, na Łotwie, Malcie i Słowacji. W 2014 roku, pięć państw członkowskich UE (Niemcy, Finlandia, Holandia i Estonia) osiągnęły już średni poziom zbierania butelek PET wynoszący 94%, co było najlepszym wynikiem jeżeli chodzi o działanie systemów kaucyjnych.

Analizując aktualnie funkcjonujące systemy, jak również postulaty globalnych i europejskich grup producenckich oraz organizacji pozarządowych, celem wprowadzenia systemu kaucyjnego powinno być zamknięcie obiegu surowców poprzez: ekoprojektowanie, maksymalizację poziomów zbiorki i zagwarantowanie recyklingu jakości. Podobnie jak w większości europejskich systemów kaucyjnych, finansowanie producentów powinno opierać się na pokryciu kosztów netto, co oznacza, że wpływy z nie odzyskanej kaucji oraz przychody ze sprzedaży surowców przekazywane są na pokrycie kosztów zbiorki. Nie występuje subsydiowanie krzyżowe, bowiem prowadzone są oddzielne rachunki dla poszczególnych frakcji materiałowych.

Bazując na doświadczeniach funkcjonujących systemów, najlepszy efekt ekologiczny zapewniają modele zbiorki w jednostkach handlowych, gdzie mieszkańcy mogą oddać zużyte opakowania po napojach przy okazji dokonywania koniecznych zakupów żywności. Najlepszą efektywność kosztową zapewniają systemy kaucyjne zarządzane przez producentów i importerów napojów na zasadzie tzw. *non for profit* i kontrolowane przez właściwe inspekcje i organy władzy centralnej, do kompetencji których należy: ustalenie minimalnych poziomów zbiorki oraz optymalnej, zwolnionej z VAT kwoty kaucji-depozytu.

Wartość kaucji powinna być na tyle wysoka, by motywować mieszkańców do oddania opakowania i na tyle bezpieczna, by nie prowokować różnych oszustw. Ustawowo narzucone poziomy zbiorki powinny odzwierciedlać zastosowanie skutecznego mechanizmu motywacyjnego, jakim jest kaucja i być wyższe niż minimalne poziomy dla zbiorki opakowań zbieranych w tradycyjnych systemach gminnych. funkcjonując na obszarze całego kraju, systemy kaucyjno-depozytowe dotyczą wielu uczestników rynku, dlatego też wymagają precyzyjnych przepisów prawnych regulujących prawa i obowiązki producentów, importerów i jednostek handlowych. Konieczne jest również wprowadzenie kar za oszustwa i wykroczenia oraz za nie osiągnięcie minimalnych poziomów zbiorki.

Minimalny zakres materiałów opakowań po napojach w systemie kaucyjnym obejmuje tylko butelki plastikowe, ale też może dotyczyć innych materiałów (puszki aluminiowe i stalowe). Siedem europejskich państw oraz Rumunia



i Szkocja, które wdrażają system, zdecydowało o włączeniu szklanych opakowań po napojach. Z uwagi na korzyści ekologiczne, opakowania szklane powinny być, obok opakowań z tworzyw i metali, integralną częścią systemu kaucyjnego. Wprowadzając system kaucyjny na jednorazowe opakowania po napojach, należałoby równolegle zobligować uczestników rynku do utworzenia obligatoryjnego systemu kaucyjnego na opakowania zwrotne. Praktyka w wielu państwach europejskich wskazuje, że mimo różnic w udziale rynkowym opakowań zwrotnych, punkty zbiórki obu rodzajów opakowań są identyczne, a podmioty odpowiedzialne za opakowania jednorazowe nawiązują współpracę z organizacjami zarządzającymi butelkami zwrotnymi, celem uzyskania korzyści logistycznych i wymiany informacji na temat zebranych opakowań.

Webinarium z dnia 14 maja 2020 roku, nt. „, Jak działają skutecznie systemy kaucyjne”, zorganizowane przez Ambasadę Norwegii, Szwecji i Finlandii oraz Innovation Norway i firmę Innovo, pozwala na zapoznanie się z systemami kaucyjnymi tych trzech państw. Skandynawskie systemy kaucyjne, działające od dawna, praktycznie spełniają wymogi dyrektywy 2019/904/UE. Cechuje je wysoka skuteczność zbiórki, a recykling obejmuje blisko 100% odpadów i charakteryzuje się wyższą wartością rynkową niż inne systemy zbiórki odpadów. Zgodność z koncepcją gospodarki cyrkulacyjnej realizowana jest przez:

- ekoprojektowanie – wprowadzanie opakowań gwarantujących recykling,
- maksymalizację recyklingu – wprowadzenie opakowań o jakości gwarantującej recykling i uzyskanie wysokich poziomów zbiórki surowców,
- zawartość recykulatu – udostępnianie odzyskanego materiału w pierwszej kolejności producentom uczestniczącym w systemie, dla produkcji następnych opakowań,
- rozwiązanie umożliwiające realizację celów regulacyjnych, odnośnie obowiązkowej zawartości recykulatu w opakowaniu.

Poniżej podano krótkie charakterystyki skandynawskich systemów kaucyjnych, w oparciu o materiały informacyjne z webinarium, otrzymane od Ambasady Norwegii [9].

System kaucyjny w Szwecji („Pantamera” – recykluj więcej), powstał już w 1984 roku, w celu ponownego wykorzystania puszek aluminiowych. Po 10-ciu latach został rozszerzony o jednorazowe butelki z tworzyw sztucznych. Działalność operacyjną systemu prowadzi Spółka (firma *non-profit*), będąca własnością producentów napojów i browarów (50%) i dwóch stowarzyszeń sektora handlu spożywczego (50%). Współpraca producentów napojów i sektora handlowego przynosi szereg korzyści:

- producenci napojów mają dostęp do materiałów pochodzących z recyklingu, z ograniczeniem wahań cen surowców,

- lepsze wykorzystanie zasobów przez producentów opakowań,
- zwiększony napływ klientów i potencjalny wzrost zakupów,
- dodatkowe środki finansowe są ponownie inwestowane aby zwiększyć efektywność systemu.

Równocześnie, wraz z wprowadzeniem systemu, producenci wody, piwa i napojów w butelkach z tworzyw sztucznych i puszkach zostali zobligowani do uczestnictwa w tym systemie przez regulatora.

System kaucyjny w Finlandii, rozpoczęty 12 lat później niż w Szwecji (rok 1996), także rozpoczął swoją działalność od różnych puszek po napojach, rozwijając się dopiero po zdobywanych doświadczeniach. Spółka tylko nadzoruje procesy takie jak: zbiórki, transportu, recyklingu, przepływu informacji i przepływów finansowych w systemie, natomiast większość operacji podlega outsourcingowi. Natomiast, system kaucyjny w Norwegii, został wdrożony najpóźniej z opisywanych systemów (rok 1999). Główną zachętą do jego stworzenia była możliwość obniżenia kwoty podatków, związanych z osiąganiem wysokich poziomów zbiórki i recyklingu. Wysoki poziom zbiórki umożliwia wytwarzanie butelek PET z 80% zawartością materiału z recyklingu, a producenci mają prawo pierwokupu recykulatu. Ilość i jakość odzyskanego surowca pozwala na zaspokojenie 80% potrzeb materiałowych rynku. Podobnie jak w Finlandii, system kaucyjny w Norwegii nie jest obowiązkowy, ale większość producentów bierze w nim udział.

## 28.5. Podsumowanie

Coraz większe ilości zanieczyszczeń z tworzyw sztucznych przedostają się do środowiska, szczególnie do środowiska wodnego, w tym do oceanów, uniemożliwiając osiągnięcie dobrego stanu wód. Podczas szczytu ONZ w Nairobi, w grudniu 2017 roku, 194 państw świata podpisało rezolucję w sprawie zanieczyszczenia wód mórz i oceanów tworzywami sztucznymi, ponieważ olbrzymie szkody dla środowiska wodnego wyrządzają mikrodrobinki plastiku

Komisja Europejska uważa za niezbędne zapobieganie wpływowi niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko, w tym szczególnie na środowisko wodne i na zdrowie ludzkie, wdając tej sprawie dyrektywę (2019/904/UE), mającą na celu zmniejszenie tego wpływu. Dla osiągnięcia tego celu Państwa Członkowskie mogą między innymi ustanowić systemy zwrotu kaucji, jak też ustanowić cele w zakresie selektywnej zbiórki w odniesieniu do odpowiednich systemów rozszerzonej odpowiedzialności producenta. Przedstawione przykładowo systemy kaucyjne, wprowadzone w Skandynawii, wykazują się wysoką skutecznością, Zastosowane ukierunkowane systemy kaucyjne przyczyniają się do zmniejszenia zanieczyszczenia i zintensyfikowania recyklingu, a w powyższych państwach już

umożliwiły osiągnięcie wysokich poziomów zbierania butelek i innych opakowań po napojach, w tym wodzie.

Należy podjąć intensywne badania nad rozwiązaniami innowacyjnymi, które mogą przyczynić się w zapobieganiu zanieczyszczeniu przez odpady z tworzyw sztucznych środowiska, w tym środowiska wodnego, a szczególnie redukującymi w praktyce mikroplastyki w wodzie i ściekach.

## **Bibliografia**

1. Morwicz B.: Plastic pollutants in water environment. *Environmental protection and Natural Resources* 28, 4, 51-55, 2017.
2. Wąsowski J., Bogdanowicz A.: Mikroplastiki w środowisku wodnym. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2020.
3. Komunikat Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów pt. Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program zero odpadów dla Europy. Bruksela, 2 lipca 2014. COM(2014)398 final.
4. Komunikat Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów pt. Zamknięcie obiegu – plan działania dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym. Bruksela, 2 grudnia 2015. COM(2015) 614 final.
5. Komunikat Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów pt. Europejska strategia na rzecz tworzyw sztucznych w gospodarce o obiegu zamkniętym. Komisja Europejska, Strasburg, 16 stycznia 2018. COM(2018) 28 final.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2019/904/UE) z dnia 5 czerwca 2019 roku w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych tworzyw sztucznych na środowisko. Dz.U. L155/1, 12 czerwca 2019.
7. Jambeck J.R. i inn.: Plastic waste inputs from land into ocean. *Science* 347, 2, 168-771, 2015.
8. Feldman D.L.: *Water politics – governing our most precious water resources*. Policy Press. Cambridge 2017.
9. Materiały informacyjne webinarium: Jak działają skutecznie systemy kaucyjne? Opracowała firma Innowo, 19 maja 2020.

## 29. Podsumowanie

W 1984 roku, wydany przez Uniwersytet im. Marii Curie-Skłodowskiej raport, przedstawił zagrożenia chemiczne środowiska w Polsce, w tym zagrożenia wynikające z chemicznego zanieczyszczenia: atmosfery, wód, gleb i roślin, żywności oraz problemy analitycznej kontroli zanieczyszczeń środowiska [1]. Prace nad raportem podjęte zostały z inicjatywy Komitetu Nauk Chemicznych PAN, a raport przygotowała sekcja Chemii i Inżynierii Środowiska przy Zarządzie Głównym Polskiego Towarzystwa Chemicznego. W rozdziale dotyczącym chemicznego zanieczyszczenia wód stwierdzono już wówczas, że wobec zarysowującego się ilościowego niedostatku wody w Polsce, szczególnego znaczenia nabiera utrzymanie właściwej jakości zasobów wodnych, a zanieczyszczenia wód stanowią istotne zagrożenie dla całej współczesnej cywilizacji.

W lipcu 2000 roku, papież Jan Paweł II podkreślił, że brak wody może być najważniejsza kwestia, z którą ludzkość będzie miała do czynienia, w najbliższej przyszłości. Natomiast, papież Franciszek, w encyklice „Laudator Si”<sup>2</sup>, uznał sprawę czystej wody za najważniejszej wagi na świecie. W 2000 roku, w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW), określono ramy działalności w dziedzinie polityki wodnej, które spowodowały ustanowienie ochrony wód przed zanieczyszczeniami, pochodzącymi z gospodarki komunalnej, przemysłu i rolnictwa, w dorzeczeniach i zlewniach. Wcześniej, wprowadzono we Wspólnocie wiele dyrektyw dotyczących ochrony wód, w tym między innymi dyrektywę dotyczącą oczyszczania ścieków komunalnych. W roku 2008, ustanowiono Ramową Dyrektywę w Sprawie Strategii Morskiej (RDM), a obydwie ramowe dyrektywy, RDW i RDM są wyjątkowe w skali globalnej. W 2010 roku, Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) uznała dostęp do bezpiecznej wody i podstawowych usług wodociągowo-kanalizacyjnych za jedno z podstawowych praw człowieka, co potwierdzono w roku 2012 w deklaracji Rio+20. Konferencja ONZ Szczyt Ziemi (Rio+20) stała się punktem zwrotnym rozwiązywania problemów gospodarowania zasobami wodnymi na świecie, przy stosowaniu zasad zrównoważonego rozwoju. Problemy wodne znalazły swój szczególny wyraz w 2012 roku, w planie ochrony zasobów wodnych Europy [2], w którym Komisja Europejska określiła długoterminową strategię zapewnienia wystarczających zasobów dobrej jakości wodny, dla uzasadnionych zastosowań, poprzez lepsze wdrażanie polityki wodnej Unii Europejskiej. Szczyt państw członkowskich Narodów Zjednoczonych w Nowym Jorku, w roku 2015, nazwany Agendą ONZ na rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030, przyniósł nowe cele rozwoju, w tym cel dotyczący wody, który ma być osiągnięty w roku 2030. Znalazły się w nim między innymi zadania dotyczące: poprawy jakości wody

przez redukcję zanieczyszczeń, podniesienie efektywności wykorzystania wody we wszystkich sektorach.

Rośnie zaniepokojenie nowymi formami zanieczyszczeń toksycznych w wodzie. W dniu 19 stycznia 2019 roku w Waszyngtonie, Andrew Wheeler – Administrator Amerykańskiej Agencji Środowiska (US EPA), w wystąpieniu przed Senacką Komisją Środowiska USA, stwierdził co następuje: „**Niebezpieczna woda do picia, a nie zmiany klimatu, jest najbardziej istotną natychmiastową kwestią dla zdrowia publicznego świata**”.

Troska o zdrowie, oprócz opieki medycznej, higieny psychicznej oraz godziwych warunków socjalnych, winna również oznaczać: ochronę wód, a ogólnie ochronę środowiska, przed zanieczyszczeniami. Wyjątkowe znaczenie ma w tym przypadku zdrowa woda, która jest zasadnicza dla życia, funkcjonowania ekosystemów wodnych i od wody zależnych oraz dla zrównoważonego rozwoju. Populacja ludzka musi być chroniona w sposób szczególny, co wynika z potrzeby ochrony życia i zdrowia publicznego.

W XXI wieku, światowy kryzys wodny, związany z zanieczyszczeniem wody i jej niedoborami, staje się w coraz bardziej poważny. Globalne zwiększenie występowania intensywnych powodzi i susz, stanowi poważne zagrożenie, a. pojawiające się niedobory wodne, w okresach suszy, są niebezpieczne dla ludności, szkodliwe dla całej gospodarki, szczególnie rolnictwa i przemysłu. Zmiany klimatyczne i cywilizacyjne powodują, że rozwiązywanie problemów związanych z ochroną zasobów wodnych staje się coraz bardziej skomplikowane, nie tylko w warunkach występujących okresów powodzi czy susz, ale też w normalnych sytuacjach eksploatacji systemów wodno-ściekowych, niezakłóconych warunkami pogodowymi. Szczególnie złożone i trudne warunki występują w przypadkach spowodowanych katastrofami ekologicznymi spowodowanymi awariami systemów wodno-ściekowych. Zabezpieczenie przed sytuacjami awaryjnymi w gospodarce wodno-ściekowej, wymaga przeprowadzenia analizy stanu technicznego systemów z nią związanych i oceny ryzyka ich funkcjonowania oraz być może wprowadzenia nowych przepisów prawnych.

Komitet Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą powołany przy Prezydium PAN, opracował w 2014 roku raport zawierający identyfikację zagrożeń związanych z wodą, biorąc pod uwagę stan gospodarki wodnej w kraju i projekcje na przyszłość [4]. W raporcie tym przedstawiono zagrożenia związane z wodą, w tym: zasoby wodne a ich wykorzystanie, zagrożenia związane z nadmiarem i niedoborem wody oraz zagrożenia instytucjonalne. Ważnym elementem raportu były zagrożenia związane z jakością wody, wynikające z wpływów antropogenicznych [5]. Działania zdążające do przedstawienia stanu, przyczyn i skutków zanieczyszczenia wód w Polsce, podjął również Komitet Inżynierii

Środowiska PAN, co skutkowało opracowaniem w 2019 roku raportu dotyczącego zanieczyszczeń wód w kraju [6]. Uwzględniono w nim wybrane zagadnienia ochrony wód, związane głównie z zaopatrzeniem ludności w bezpieczną i zdrową wodę do picia, w związku z występowaniem okresów susz i niedoborów wody, jak też możliwością pojawiania się nowych form zanieczyszczeń. Stan jakości krajowych wód powierzchniowych, przedstawiany w raporcie na podstawie wyników państwowego monitoringu środowiska Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, jest zły pod względem stanu ekologicznego/potencjału ekologicznego [7].

W efektywnej ochronie wód, szczególnie ważna jest prawidłowa ocena stanu wód i jego przyczyn. RDW wymaga, aby do wykonania przeglądu stanu wód w zlewniach monitorować wody powierzchniowe w zakresie stanów ekologicznych i chemicznych oraz wody podziemne w zakresie stanu ilościowego i stanu chemicznego. Do roku 2018, krajowy monitoring wód prowadzony był w zasadzie w układach administracyjnych kraju, a nie w dorzeczeniach / zlewniach rzek, co wymaga dyrektywa ramowa. Monitoring wód oddzielony od monitoringu presji i ich analiz, nie może spełnić w pełni swojej roli i może utrudnić pełną ocenę stanu wód. Aby zapewnić właściwą kontrolę nad odprowadzaniem zanieczyszczeniami do odbiorników konieczne jest prowadzenie monitoringu zrzucanych ścieków do wód, a nie monitoringu tylko samych wód. Wyniki monitoringu wód i ścieków powinny być wykorzystane do opracowania planów gospodarowania wodami oraz koniecznych programów, a szczególnie do sprawdzania skuteczności podjętych działań. Dlatego, narzędzia takie jak: modelowanie matematyczne i systemy informacyjne, a nawet obrazy satelitarne, powinny być wykorzystywane przy opracowywaniu planów, które stanowią integralną część podejmowania decyzji związanych z efektywną ochroną wód.

Rozwój technologii wody, poprawił higienę i stan sanitarny miast oraz stan zdrowia publicznego [8]. Jednakże, problem bezpieczeństwa zdrowotnego wody dotyczy wszystkich wodociągów, w szczególności małych przedsiębiorstw produkujących wodę. W Polsce, nadzór nad jakością wody przeznaczonej do spożycia, sprawuje Państwowa Inspekcja Sanitarna (PIS). Zgodnie z jej raportem z roku 2019 [9], woda wykorzystywana do zbiorowego zaopatrzenia w 72% pochodziła z ujęć podziemnych i w 28% z ujęć powierzchniowych. Liczba małych wodociągów (poniżej 1000 m<sup>3</sup>/d) stanowiła 92%, obsługujących około 12 mln ludzi (produkcja wody – 33%), natomiast pozostałe większe wodociągi obsługiwały ponad 24 mln ludzi (produkcja wody – 67%). W 2018 roku, około 99% ludności miało dostęp do wody pochodzącej z zaopatrzenia zbiorowego, zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia (Dz.U. z 2017, poz. 2294), które weszło w życie w dniu 11 stycznia



2018 roku (z pewnymi wyjątkami), a tylko 1% ludności do wody – warunkowo dopuszczanej do spożycia przez ludzi. W latach 2000-2018, widoczna była stała malejąca tendencja do wykorzystania wody z ujęć powierzchniowych. Ujęcia takie wykorzystywane są nadal przez duże aglomeracje i przemysł, a ich pobór w 2018 roku pokrywał 82% potrzeb przemysłu. Wody podziemne wykorzystywane były przede wszystkim do zaopatrzenia ludności w wodę. Na jakość wody do spożycia wywiera wpływ nie tylko jakość ujmowanej wody, ale również sposób uzdatniania wody czy sposób jej dystrybucji, w tym stan techniczny sieci wodociągowych. Według PIS, mikrobiologiczne pogarszanie się jakości wody było związane z: awariami urządzeń, przeciekami sieci wodociągowej, brakiem wymaganego płukaniem, brakiem odpowiedniej dezynfekcji, złym stanem instalacji wewnętrznych, małymi rozbiorami wody. Przekroczenia parametrów jakości wody do spożycia, ze zbiorowego zaopatrzenia, stwierdzano najczęściej w wodociągach o małej dobowej ilości wody, ale jak wskazano powyżej zaopatrujących duży odsetek ludzi.

Podanymi przyczynami jakości wody nie spełniającej warunków są: wadliwa technologia uzdatnia (szczególnie na obszarach wiejskich), niewłaściwa eksploatacja, brak stref ochrony ujęć, zapóźnienia w rozwoju sieci kanalizacyjnych i niewłaściwy nadzór nad odprowadzaniem ścieków. Niezbędne jest dlatego dalsze podnoszenie stanu istniejącej infrastruktury wodociągowej, likwidacja zbiorników bezodpływowych. Zbiorowe zaopatrzenie w wodę w Polsce charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem pod względem ilości dostarczanej wody. Centralizacja małych wodociągów i tworzenie większych sieci wodociągowych może wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa zdrowotnego wody. Należy dodać, że Komisja Europejska zastrzyła wymogi jakości wody przeznaczonej do spożycia, wydając nową dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Będzie to związane z pewnością z dalszym rozwojem i zastosowaniem nowych technologii uzdatniania wody i prawidłowej ich eksploatacji.

Sprawcami zanieczyszczenia wód w Polsce są głównie: gospodarka komunalna, rolnictwo i przemysł. W roku 2018, według GUS [10], najwięcej ścieków przemysłowych powstawało w przetwórstwie przemysłowym (49%) oraz w działalności górniczej i wydobywczej (34%). Systemy zbiorczego odprowadzania ścieków obsługiwały 71% ludności kraju, w tym 90% ludności miast i 41% ludności wsi. W latach 2000-2018, ilość ścieków komunalnych i przemysłowych zmalała o około 12%, natomiast ilość ścieków nieczyszczonych zmalała o 65%, przy dwukrotnym zwiększeniu ilości ścieków oczyszczanych w urządzeniach o podwyższonym usuwaniu substancji biogenych. W skali kraju, nadal występuje duża dysproporcja pomiędzy długościami sieci kanalizacyjnej a sieci wodociągowej, o ile długość,



sieci wodociągowej rozdzielczej wynosiła 308 tys. km. sieci kanalizacyjnej – 161 tys. km.

Natomiast, w latach 2000-2018 nastąpił 62% wzrost ilości masy osadów ściekowych z komunalnych oczyszczalni ścieków. Ilość masy komunalnych osadów ściekowych stanowiła w roku 2018 około 56%, a masa ilości przemysłowych osadów ściekowych – 44%, całkowitej masy osadów ściekowych wytworzonych w tym roku. Ilość osadów ściekowych przemysłowych zmniejszyła się w stosunku do 2000 roku o 65%, głównie z uwagi na zmniejszenie się ilości ścieków przemysłowych. W latach 2000-2018, nastąpił 6-krotny wzrost utylizacji termicznej osadów pochodzących z komunalnych oczyszczalni ścieków. W roku 2018, wzrost ten stanowił ponad 19% (111,5 tys. ton s.m.) osadów powstałych z komunalnych oczyszczalni ścieków w tym roku (ok.583 tys. ton s.m.). Podawane przez GUS obliczeniowe ilości osadów ściekowych, jako tzw. sucha masa (s.m.), są ilościami przybliżonymi, ponieważ zasadniczą część masy osadów stanowi woda (powyżej 90%). Osady ściekowe stanowią ważny problem społeczny, ekologiczny i techniczny, który przy złych rozwiązaniach może zagrażać bezpieczeństwu sanitarnemu kraju. Tymczasem, brak jest nowoczesnego prawodawstwa przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych, a istniejące oparte jest głównie na prawodawstwie Wspólnoty liczącym ponad 30 lat. Unijna koncepcja GOZ stwarza nie tylko nowe szanse dla gospodarki wodno-ściekowej, ale również dla gospodarki osadowej/odpadowej. W 2014 roku, zespół ekspercki przedstawił materiał bazowy, dla resortu środowiska, do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi [11]. Opracowana w 2018 roku „Strategię postępowania z komunalnymi osadami na lata 2019-2022”, niestety nie spełnia pokładanych w niej nadziei.

W Polsce, prowadzi się szereg programów i działań związanych z ochroną zasobów wodnych, takich jak: program azotanowy – stanowiący ograniczenie presji z rolnictwa, działania dla ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem-poprzez ustanawianie stref ochronnych ujęć wody oraz obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych, program dla wód morskich – Krajowy Program Ochrony Wód Morskich (KPOWM), oraz Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) – wdrażający postanowienia dyrektywy ściekowej który jest najważniejszym i największym programem związanym z ochroną wód przed zrzutami ścieków komunalnych i wybranych ścieków przemysłowych (głównie przemysłu spożywczego). KPOŚK stanowi zobowiązanie traktatowe i dlatego powinien być realizowany w dłuższym okresie, w celu nadrobienia dużych zaległości narosłych w gospodarce wodno-ściekowej w minionym systemie gospodarczym. W 2020 roku, opracowany został raport Komitetu Inżynierii Środowiska PAN związany z oczyszczaniem ścieków oraz

zagospodarowaniem osadów ściekowych, z uwzględnieniem powstałych nowych koncepcji w gospodarce ściekowo-osadowej [12]. W raporcie tym potwierdzono, że niezbędna jest dalsza realizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), uzupełnionego o Krajowy Program Zagospodarowania Osadów Ściekowych (KPOZOŚ), realizowanego jako podprogram, lub jako program samodzielny. KPOZOŚ powinien uwzględniać zagospodarowanie osadów ściekowych, w tym odzysk substancji biogenych, energii i wód, zgodnie z gospodarką cyrkulacyjną (GOZ). W tym, należy również określić rolę substancji toksycznych i zanieczyszczeń bakteriologicznych występujących w ściekach oraz osadach ściekowych, stanowiących zagrożenie dla ludzi i przyczyniających się do zanieczyszczenia środowiska. Podjęcie powyższego stanowi jedno z ważniejszych przedsięwzięć, aby wprowadzana gospodarka cyrkulacyjna w Polsce nie osiągnęła charakteru toksycznego, w formie odzyskiwanych produktów. Z obu raportów, wykonanych przez Komitet Inżynierii Środowiska PAN, wynika konieczność przeznaczania nadal środków finansowych, krajowych i unijnych, na inwestycje z zakresu: zaopatrzenia w wodę, na sieci wodociągowe i kanalizacyjne, oczyszczanie ścieków i zagospodarowanie osadów ściekowych, tym bardziej, że sytuacja związana ze zmianami klimatycznymi i możliwymi wystąpienia poważnych niedoborów wody może się zaostrzać

W dodatku do działalności inwestycyjnej, niezbędne są programy/projekty badawczo-rozwojowe, wspierających programy inwestycyjne. Przykładowo, pierwszym celem prac byłoby być opracowywanie i weryfikacja innowacyjnych systemów poprawiających jakość wody w Polsce, a szczególnie eliminacji nowych zagrożeń toksycznych i bakteriologicznych, z uwagi na zagrożenie zdrowia ludzi, w szczególności młodego pokolenia. Drugim, byłoby być opracowanie i weryfikacja skutecznych systemów zagospodarowania ciągle rosnących ilości osadów ściekowych i o zmieniającej się jakości, zgodnie z gospodarką cyrkulacyjną, trzecim – zagospodarowanie i wykorzystanie wód opadowych. Rozwój systemów wodno-ściekowych, związany z rozwojem cywilizacyjnym, wymaga bowiem ciągłego rozwoju systemów wodociągowo-kanalizacyjnych, ale i szeregu innych działań. Wspomniana Agenda ONZ na rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030, wskazała na konieczność podejmowania działań i opracowywania programów, takich jak: gromadzenie wody, odsalanie, efektywna gospodarka wodna, oczyszczanie ścieków, recykling i ponowne wykorzystania wody.

Politykę wodną na początku XXI wieku, oparto o koncepcję tzw. Zintegrowanego Gospodarowania Zasobami Wodnymi – (ang. Integrated Water Resources Management, IWRM), zdefiniowanego przez Globalne Partnerstwo Wodne jako: „*proces, który promuje skoordynowany rozwój i gospodarowanie wodą, ziemią i związanymi z nimi zasobami, aby maksymalizować wynikający dobrobyt*

*ekonomiczny i społeczny w sposób sprawiedliwy, bez narażenia trwałości życiowych ekosystemów*” [13]. Integruje ono wprawdzie cele ekologiczne z celami społecznymi i ekonomicznymi, lecz integrowanie w ramach tylko samego gospodarowania wodą nie jest wystarczające dla opracowania optymalnych strategii ochrony zasobów wodnych, szczególnie ochrony przed nowymi zagrożeniami. Występujące ściśle związki, takie jak przykładowo: woda-energia-woda (ang. water-energy-water) czy woda – energia – żywność (ang. water – energy – food), w kontekście zmian klimatycznych wymagają nowych paradygmatów. Należy jednak podkreślić, że polityka wodna, tak jak inne polityki, jest zmienna w czasie. Według prof. Davida L. Feldmana [14] z Uniwersytetu Kalifornii w Irvine (USA), jest pięć problemów istotnych dla współczesnej polityki wodnej, a mianowicie:

- rosnące zapotrzebowanie na wodę w kontekście zmian klimatycznych,
- jakość zasobów wodnych obniży użyteczność wody i zagrozi zdrowiu ludzi i jakości środowiska,
- zapotrzebowanie na wodę słodką przekroczy dostępność w stosunku do poboru wody,
- rosnące kompetycje w poborze wody, używanej wspólnie w dorzeczach i zbiornikach podziemnych, staną się zbyt trudne do polubownego rozwiązania,
- proponowane rozwiązania problemów wodnych, takie jak: odsalanie, odnowa wody, w wtórne wykorzystanie ścieków, a nawet ochrona, mają wiele wyzwań związanych ze sprawami takimi jak przykładowo: akceptacja społeczna, sposoby kontroli oraz zaufanie do instytucji.

Rosnącego światowego deficytu czystej wody, nie rozwiąże się tylko przez samo jej oszczędzanie, ale zyskujemy pewien czas na opracowanie nowych rozwiązań, przykładowo eliminując niebezpieczne zanieczyszczenia, przed ich wprowadzeniem do systemów kanalizacyjnych. Ochrona zasobów wodnych wymaga współdziałania całego społeczeństwa, w tym zmian w jego dotychczasowym sposobie życia oraz likwidacji zanieczyszczeń wody u źródła. W tym miejscu warto przytoczyć następującą wypowiedź Alberta Einsteina:

***„Nie możemy rozwiązać problemów poprzez stosowanie tego samego rodzaju myślenia, które stosowaliśmy gdy te problemy tworzyliśmy „.***

Należy się spieszyć, bowiem „zegar wodny” szybko odmierza czas, gdy wiek XXI przekształca się z wieku ropy w wiek wody i przyspieszają zmiany klimatyczne. Szczególnie jest to istotne dla gospodarki wodnej naszego kraju, o bardzo szczupłych zasobach wodnych.

## **Bibliografia**

1. Pawłowski L., Kozak Z.(red): Chemiczne zagrożenia środowiska w Polsce. Raport/ Ekspertyza. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1984.
2. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Plan ochrony zasobów wodnych Europy. Bruksela 14.11.2012 (COM/2012/673 final).
3. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne ONZ. Przekształcamy świat: Agenda na rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030. Nowy Jork 25.09.2015.
4. Kuncewicz Z.W. (red.): Artykuły wchodzące w skład raportu opracowanego przez Komitet Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Woda przy Prezydium PAN. NAUKA, Wyd. PAN, 1, 59-195,2014.
5. Gromiec M., Sadurski A., Zalewski M., Rowiński P.: Zagrożenia związane z jakością wody, NAUKA, Wyd. PAN, 1, 99-122, 2014.
6. Gromiec M., Pawłowski L.(red.): Zanieczyszczenia wód w Polsce: Stan, Przyczyny, Skutki. Raport. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska Nr 164. Wyd. Polskiej Akademii Nauk. Lublin 2019.
7. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Stan Środowiska w Polsce, Raport 2018. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2019.
8. Sozański M.M., P.M. Huck: Badania doświadczalne w rozwoju technologii uzdatniania wody. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN nr 42. Lublin 2007.
9. Państwowa Inspekcja Sanitarna: Stan Sanitarny Kraju w roku 2018. Warszawa 2019.
10. Główny Urząd Statystyczny: Ochrona środowiska 2019. Warszawa 2019.
11. Bień J. i inn.: Ekspertyza, która stanowić będzie materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2014-2020. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2014.
12. Bień J., Gromiec M., Pawłowski L.: Ocena Gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce. Raport. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska Nr 166. Wyd. Polskiej Akademii Nauk. Lublin 2020.
13. Integrated Water Resources Management. Technical Advisory Committee, Global Water Partnership. Stockholm 2000.
14. Feldman D.L.: Water Politics. Polity Press. Cambridge 2017.

## Spis rysunków

Rysunek 11.1.	Podstawa wyboru ogólnej strategii ochrony krajowych zasobów wodnych . . . . .	105
Rysunek 11.2.	Procedura dla zlewniowej ochrony krajowych zasobów wodnych . . . . .	106
Rysunek 16.1.	Schemat granulii osadu czynnego . . . . .	147
Rysunek 16.2.	Różnica między klasycznym osadem czynnym a osadem granulowanym . . . . .	147
Rysunek 16.3.	Fazy w sekwencyjnym reaktorze z granulowanym osadzie czynnym . . . . .	148
Rysunek 16.4.	Schemat oczyszczalni ścieków w Vroomshoop i możliwe opcje . . . . .	152
Rysunek 16.5.	Reaktory Nereda w Rykach (fot. dzięki uprzejmości mgr inż.T. Pośpiecha) . . . . .	157
Rysunek 19.1.	Połączenie hydrolizy termicznej z odzyskiem fosforu . . . . .	181
Rysunek 21.1.	Rozwiązanie firmy Ostara na oczyszczalni w Chicago. . . . .	203
Rysunek 21.2.	Instalacja do odzysku fosforu na oczyszczalni „Stickney” w Chicago . . . . .	202
Rysunek 22.2.	Główne zastosowanie procesu krystalizacji w technologii fluidalnej. . . . .	207
Rysunek 22.2.	Schematy technologiczne strącania i krystalizacji . . . . .	208
Rysunek 22.3.	Działanie reaktora typu Crystalactor . . . . .	208
Rysunek 22.4.	Charakterystyka powstających granulii i osadów . . . . .	210
Rysunek 22.5.	Podstawowa charakterystyka technologii Cystalactor . . . . .	210
Rysunek 22.6.	Metale odzyskiwane za pomocą technologii Crystalactor . . . . .	211
Rysunek 22.7.	Schematy zastosowania Crystalactora do usuwania fosforanów. . . . .	212
Rysunek 22.8.	Instalacja w Amsterdamie . . . . .	214
Rysunek 22.9.	Instalacja w Dejtar . . . . .	214
Rysunek 22.10.	Instalacja w Geestmerambad . . . . .	216
Rysunek 22.11.	Instalacja DuPont . . . . .	217
Rysunek 22.12.	Instalacja MEMT . . . . .	217

Rysunek 22.13. Schemat technologii BioSulphide / ChemSulphide . . . . .	219
Rysunek 22.14. Schemat technologii Chem Sulphide z wymiana jonową .	219
Rysunek 22.15. Przykładowe rozwiązanie stacji pilotowej . . . . .	221
Rysunek 25.1. Przykład reaktora UV w kształcie litery L . . . . .	241
Rysunek 25.2. Przykład reaktora średnio ciśnieniowego . . . . .	242
Rysunek 25.3. Średnio ciśnieniowy system dezynfekcji ścieków w kanałach otwartych . . . . .	248
Rysunek 27.1. Rodzaje napowietrzania: rozbryzgowe, z korytem płytkim . . . . .	280
Rysunek 27.2. Przykładowe napowietrzanie rozbryzgowe do usuwana radonu . . . . .	281

## Spis tabel

Tablica 9.1. Wymogi ustanowione dla ścieków przemysłowych ulegających biodegradacji . . . . .	85
Tablica 10.1. Charakterystyka KPOŚK 2003 . . . . .	88
Tablica 10.2. Charakterystyka AKPOŚK 2005 . . . . .	88
Tablica 10.3. Charakterystyka AKPOŚK 2010 . . . . .	88
Tablica 10.4. Długość sieci kanalizacyjnej w km według AKPOŚK 2010 . . . . .	90
Tablica 10.5. Nakłady inwestycyjne na aglomeracje spełniające i niespełniające priorytety na lata 2007-2015 według KPOŚK 2010 . . . . .	91
Tablica 10.6. Obsługa kanalizacji przez systemy kanalizacyjne według AKPOŚK 2010 . . . . .	91
Tablica 16.1. Wymagania i wyniki oczyszczalni ścieków w Epe . . . . .	92
Tablica 16.2. Ogólne porównanie dwóch technologii BNR i Nereda . . . . .	149
Tablica 23.1. Porównanie charakterystyk granulek i osadów . . . . .	209
Tablica 23.2. Przykładowe koszty eksploatacyjne dla usuwania fluorków . . . . .	213



## O Autorze



Profesor Marek Gromiec, dr hab. nauk technicznych, ur. 14 września 1943 roku w Warszawie. Absolwent Wydziału Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Warszawskiej oraz Wydziału Inżynierii Ochrony Środowiska Uniwersytetu Teksasu w Austin, USA. Uzyskał dyplom międzynarodowego kursu pt.: „Zintegrowane Zarządzanie Zasobami Wodnymi” w Departamencie Gospodarki Wodnej Stanów Zjednoczonych w Waszyngtonie, D.C. Ekspert ONZ, którego przedmiotem działalności jest gospodarka wodna, szczególnie ochrona wód przed zanieczyszczeniem oraz technologia wody i ścieków.

Pracował za granicą w: Amerykańskim Centrum Badań Zasobów Wodnych – CRWR (USA), Międzynarodowym Instytucie Analiz Systemów Stosowanych – IIASA (Austria), Technicznym Centrum Badawczym Finlandii – VTT, Azjatyckim Instytucie Technologii – AIT (Tajlandia). Jako ekspert ONZ realizował projekty techniczne z ramienia UN HABITAT oraz UNIDO, był konsultantem UN w Birnie, członkiem Komisji Hydrologicznej WMO, a jako ekspert brał udział w projektach międzynarodowych, w tym z ramienia US EPA w projekcie CCMS NATO dotyczącym eutrofizacji wód słodkich i morskich na świecie.

W 2010 roku, na zaproszenie Przewodniczącego 65-tej sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ, uczestniczył w Nowym Jorku jako przewodniczący delegacji RP, w interaktywnym dialogu Wysokiego Szczebla na temat problematyki wody na świecie, jak też w konferencji Wysokiego Szczebla w Duszanbe, Tadżykistan. W roku 2011, z ramienia EKG ONZ, był przewodniczącym Okrągłego Stołu Ministerialnej Konferencji pt. „Środowisko dla Europy” w Astanie, Kazachstan. Reprezentant Polski na Światowe Forum Wodne w Stambule (2009) i Marsylii (2012). Wykładał za granicą na wyższych uczelniach: Uniwersytecie Teksasu w Austin (jako profesor wizytujący), Uniwersytecie Oulu (Finlandia), Uniwersytecie Tohoku w Sendai, Uniwersytecie Tokio i innych (Japonia).

W kraju, pracował w Instytucie Gospodarki Wodnej (IGW) oraz w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), gdzie był głównym technologiem, kierownikiem Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie i Pełnomocnikiem Dyrektora Naczelnego ds. Projektów Specjalnych. Kierował i koordynował prace w dużych projektach wdrożeniowych. Był między innymi kierownikiem Projektu Badawczego Zamawianego Ministra Środowiska pt. „Strategia ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem z punktu widzenia ochrony zdrowia i przyrody oraz potrzeb gospodarczych”, w którym opracowano strategię ochrony wód dla Polski, a jego wyniki stanowiły podstawę opracowania Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. W 2009 roku przeszedł na emeryturę nie przerywając pracy zawodowej.

Pełnił szereg funkcji: doradcy ministra środowiska, przewodniczącego Krajowej Rady Gospodarki Wodnej (dwie kadencje, 2002-2010), przewodniczącego Rady Eko Funduszu,

sekretarza i członka Prezydium Państwowej Rady Ochrony Środowiska, przewodniczącego Zespołu ds. Ochrony Środowiska Komitetu Badań Naukowych, zastępcy Przewodniczącego Międzyresortowego Zespołu do Spraw Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych, wiceprzewodniczącego Krajowej Komisji Ocen Oddziaływania na Środowisko, członka Komisji Aprobatach Technicznych IOŚ, członka Rady Nadzorczej Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (2007-2012), przewodniczącego Rady Naukowo-Technicznej Warszawskiego Przedsiębiorstwa Robot Inżynierskich „Hydrocentrum”, członka Rady Nadzorczej Biura Projektów „Hydroprojekt”, prezesa Zarządu Przedsiębiorstwa Innowacyjnego „Envirotex”, prezesa Zarządu Stowarzyszenia Ekorozwój.

Był przedstawicielem rządu RP w Międzynarodowej Radzie Europejskiego Regionalnego Centrum Ekohydrologii UNESCO, członkiem Komitetu Monitorującego Program Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW), członkiem Wspólnego Komitetu Polsko-Amerykańskiego Funduszu imienia Marii Curie-Skłodowskiej, członkiem Zarządu Dyrektorów Wschodnio-Europejskiego Konsorcjum Biznesu Środowiska w Waszyngtonie DC.

W okresie 2011-2015, był stałym ekspertem w Komisji Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa Sejmu RP oraz przewodniczącym Zespołu Ekspertów Komisji Środowiska Senatu RP.

Z ramienia PAN, został reprezentantem Polski w Międzynarodowej Komisji Jakości Wody Asocjacji Nauk Hydrologicznych. Był wiceprzewodniczącym Komitetu do Spraw Zagrożeń w Gospodarce Wodnej przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk (PAN) oraz członkiem Komitetu Gospodarki Wodnej PAN oraz Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Pełnił również funkcje: przewodniczącego Komisji Gospodarki Wodno-Ściekowej Krajowej Rady Gospodarki Wodnej oraz przewodniczącego Polskiego Komitetu Naukowo-Technicznego ds. Gospodarki Wodnej SITWM – NOT.

W kraju, wykładał technologię wody na Uniwersytecie Gdańskim. a obecnie wykłada w Wyższej Szkole Ekologii i Zarządzania (WSEiZ) w Warszawie oraz na Politechnice Warszawskiej (PW), gdzie od roku 2014 jest przewodniczącym Rady Doradczej Wydziału Instalacji, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska PW.

Członek Rady Biznesu przy Wydziale Biologii i Nauk o Środowisku Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, w kadencji 2016-2020. Od roku 2016 jest ekspertem ds. Gospodarki Wodnej Komisji Senatu RP. W roku 2020, został powołany na członka Państwowej Rady Gospodarki Wodnej, a w 2021 roku na członka Państwowej Rady Ochrony Środowiska. Jest członkiem Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Komitetu Monitorującego Program Operacyjny Wiedza – Edukacja – Rozwój, członkiem Rady Programowej Polskiej Izby Gospodarczej „Ekorozwój”, członkiem Zespołu Ekspertów przy MPWiK w Warszawie S.A., przewodniczącym Kapituły Ogólnopolskiej Nagrody „Zielony Laur”.

Otrzymał nagrody krajowe: osiem nagród kolejnych Ministrów Środowiska (1991-2005), Złotą Odznakę za Zasługi dla ochrony środowiska i gospodarki wodnej (1998), Złotą Odznakę PZITS (2004), Odznakę Honorową za zasługi dla ochrony środowiska (2005), statuetkę Laur Wodny za wkład w rozwój gospodarki wodnej – nagroda Prezesa KZGW

(2008), Odznakę Honorową „Zasłużony dla górnictwa RP” (2009), statuetkę „Niedźwiedzia” – Nagrodę JM Rektora WSEiZ w Warszawie za całokształt pracy naukowo-dydaktycznej i badania dotyczące gospodarki wodnej i ochrony wód Bałtyku (2010), Złoty Kordelas Leśnika Polskiego (2010), statuetkę „Kropla Wody” za promocję zlewniowej gospodarki wodnej (2011), statuetkę Hydroprojektu (2011), statuetkę Aquarina Specjalna (2012) za wybitne osiągnięcia w dziedzinie ochrony środowiska, a zwłaszcza w zaopatrzeniu i technologii wody, statuetkę Polskiej Izby Gospodarczej „Ekorozwój” (2017), statuetkę Klucz Sukcesu na Kongresie Wod–Kan–Eko (2019) za szczególny wkład w rozwój branży wodociągowo-kanalizacyjnej.

Otrzymał też wyróżnienia: tytuł Honorowego Górala Łąckiego za usuwanie skutków powodzi (2002), tytuł Partner Ekologii w Kategorii Osobowość w Narodowym Konkursie Ekologicznym pod Honorowym Patronatem Prezydenta RP (2011), tytuł Partner Wydziału Biologii i Nauk o Środowisku Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego, jak też szereg medali, w tym: Medal Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (2000), medal im. Prof. Gabriela Narutowicza IMGW (2002), Medal Międzynarodowych Sieci Organizacji Zlewniowych (2004), Medal Ligi Morskiej i Rzeczej (2008), Medal Instytutu Przemysłu Cukrowniczego (2008), Złoty Medal Izby Gospodarczej Wodociągi Polskie (2009), Medal im. Prof. Adama Loreta od Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych (2010), Medal 100-lecia Odnowienia Tradycji Politechniki Warszawskiej (2015), Medal „Mente et Malleo” Państwowego Instytutu Geologicznego za wybitne zasługi dla PIG-PIB (2016), Medal Polskiej Izby Gospodarczej Ekorozwój (2017) oraz wiele medali od przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych.

Został odznaczony: Medalem Senatu RP (2010), Srebrnym Krzyżem Zasługi (1999) i Złotym Krzyżem Zasługi (2013), Medalem Komisji Edukacji Narodowej (2015). Laureat nagród międzynarodowych: Złoty Medal Międzynarodowego Sympozjum Wodnego w Cannes (2005), Szwedzka Nagroda Wodna Morza Bałtyckiego (2010), Nagroda Wodna Grand Prix Cannes (2010), Złota Nagroda Wodna Culligana (2010).

W USA, w 2015 roku, jako absolwent Uniwersytetu Texasu w Austin, został wybrany na członka Akademii Wybitnych Absolwentów Architektury, Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

Autor i współautor około 300 publikacji naukowych i technicznych, w tym autor/współautor/edytor 30 książek i kilku patentów. Organizator 30 konferencji i sympozjów naukowo-technicznych. Członek rad programowych czasopism naukowych i technicznych w kraju i zagranicą, członek wielu stowarzyszeń zawodowych, między innymi członek Amerykańskiej Federacji Wodnej, umieszczony w Who's Who in the World (Marquis, USA).