

# **Autoreferat**

## **o osiągnięciach w działalności naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej**

### **Spis treści**

1. Imię i nazwisko .....	2
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	2
3. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych.....	2
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 19 stycznia 2018 r. poz. 261).....	3
a) Tytuł osiągnięcia.....	3
b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia.....	3
c) Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	3
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	14
a) Przed uzyskaniem stopnia doktora.....	14
b) Po uzyskaniu stopnia doktora.....	15
6. Informacja o działalności dydaktycznej, organizacyjnej, współpracy naukowej i popularyzacji nauki.....	21
7. Zestawienie dorobku.....	23

## **1. Imię i nazwisko**

**Katarzyna Maria Kolecka**

## **2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

- 2002 Uzyskanie tytułu magistra inżyniera inżynierii środowiska, Politechnika Gdańska Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska (obecnie Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska), tytuł pracy: „Ocena jakości wód podziemnych piętra kredowego na wybranych ujęciach gdańskich w świetle nowego rozporządzenia”, promotor: prof. dr hab. inż. Krystyna Olańczuk-Neyman
- 2007 Uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w zakresie inżynieria środowiska, Politechnika Gdańska Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska. Praca doktorska pt. „Długookresowe zmiany specjacji metali ciężkich w osadach ściekowych utylizowanych w złożach trzcinowych”, promotor: prof. dr hab. inż. Hanna Obarska-Pempkowiak

## **3. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych**

- 2002-2006 Słuchaczka studium doktoranckiego „Geotechnika i Inżynieria Środowiska” na Wydziale Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej w trakcie zmieniony na Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
- 2008-2010 Stanowisko adiunkta w Katedrze Inżynierii Sanitarnej na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy
- 2009-2012 Stanowisko adiunkta w Katedrze Inżynierii Sanitarnej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej (w latach 2009-2010 pół etatu, od 2010 pełen etat)
- 2012- Stanowisko adiunkta w Katedrze Technologii Wody i Ścieków na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 19 stycznia 2018 r. poz. 261)**

**a) Tytuł osiągnięcia**

**Usuwanie zanieczyszczeń i stabilizacja osadów ściekowych w systemach trzcinowych**

**b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia**

Monografia:

**Kolečka K.** (2019). Usuwanie zanieczyszczeń i stabilizacja osadów ściekowych w systemach trzcinowych, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, nr 149, Gdańsk 2019, 212s. (196 s. bez spisu monografii Komitetu PAN), ISBN: 978-83-63714-48-2

**c) Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem ich ewentualnego wykorzystania**

Ustawa o odpadach z 2013 roku<sup>1</sup> określa komunalne osady ściekowe jako pochodzące z oczyszczalni ścieków osady z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków. Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z 23 października 2000 roku<sup>2</sup> określa, że komunalne osady ściekowe powinny być ponownie wykorzystane, jeśli zostanie ograniczony do minimum ich niekorzystny wpływ na środowisko przyrodnicze.

Osady ściekowe stanowią poważny problem, szczególnie dla małych i średnich oczyszczalni ścieków, które dysponują ograniczonymi środkami finansowymi. Problem ten pogłębił się w 2016 roku, gdy wprowadzono akt prawny, który w praktyce uniemożliwia składowanie osadów ściekowych. Odpowiedzią na problem zagospodarowania osadów ściekowych mogą być systemy trzcinowe, w których zachodzi zintegrowane odwadnianie oraz stabilizacja. Metoda ta jest znana i wykorzystywana od końca lat 80-tych w wielu krajach europejskich, m.in. we Francji, Dani, a także w Niemczech, Grecji, Hiszpanii, Belgii, Wielkiej Brytanii i Włoszech. We Francji pracuje ok. 120 obiektów tego typu, a w Danii ok. 140<sup>3,4,5</sup>. W Polsce w skali technicznej pracuje m.in. obiekt trzcinowy na terenie konwencjonalnej

---

<sup>1</sup> Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21)

<sup>2</sup> Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej

<sup>3</sup> Nielsen S., Peruzzi E., Macci C., Doni S., Masciandaro G, (2014). Stabilisation and mineralization of sludge in reed bed system after 10 – 20 years of operation. *Water Science and Technology*, vol. 69, no 3, 539-545

<sup>4</sup> Uggetti E., Ferrer I., Llorens E., García J., (2010). Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art. *Bioresource Technology*, vol. 101, no 9, 2905–2912

<sup>5</sup> Troesch S., Liénard A., Molle P., Merlin G., Esser G., (2009). Sludge drying reed beds: a full and pilot-scales study for activated sludge treatment. *Water Science and Technology*, vol. 60, no 5, 1145–1154

oczyszczalni ścieków w Gniewinie k. Wejherowa oraz w Zambrowie w woj. podlaskim. Dla mniejszych oczyszczalni ścieków metoda ta stosowana była między innymi w Darzłubiu k. Pucka oraz Nadolu k. Wejherowa<sup>6,7</sup>. Dotychczas w Polsce funkcjonowanie systemów trzcinowych nie zostało kompleksowo zbadane.

**W pracy postawiono następujące cele:**

1. Ocenę wartości nawozowych osadów przetwarzanych w systemach trzcinowych oraz możliwości ich wykorzystania do rekultywacji gruntów lub na cele rolnicze.
2. Ocenę jakości odcieków generowanych w systemach trzcinowych oraz ich wpływ na pracę oczyszczalnię.
3. Określenie możliwości usuwania nowopojawiających się zanieczyszczeń na przykładzie wybranych farmaceutyków oraz ftalanów.
4. Określenie zachodzących procesów stabilizacji osadów na podstawie analizy stabilnych izotopów węgla.
5. Ocenę bioróżnorodności biocenozy oraz przebiegu procesów w systemach trzcinowych przy wykorzystaniu analiza metagenomowej.

Badania prowadzono w trzech systemach trzcinowych do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych zlokalizowanych na terenie oczyszczalni ścieków: w Gniewinie, Nadolu i Inwałdzie. System w Gniewinie jest eksploatowany do chwili obecnej. Natomiast systemy w Nadolu i Inwałdzie, ze względu na zmiany w gospodarce ściekowej gmin, zostały zamknięte.

**ad. 1.**

W celu oceny wartości nawozowych osadów przetwarzanych w systemach trzcinowych oraz możliwości ich wykorzystania do rekultywacji gruntów lub na cele rolnicze wykonano następujące oznaczenia: stężenie suchej masy, materii organicznej, związków biogennych, metali ciężkich i ftalanów oraz przeprowadzono wstępne badania wazonowe z użyciem ustabilizowanych osadów.

Wartości suchej masy uzyskane w Gniewinie były zbliżone do wartości uzyskanych przez Nielsena<sup>8</sup> w systemach, w których wystąpiły problemy eksploatacyjne. Wynosiły one średnio 10%. W pozostałych analizowanych systemach trzcinowych uzyskano znacznie wyższe stężenie suchej masy wynoszące odpowiednio: 33,0 % w Inwałdzie oraz aż 53,1% w Nadolu. Wysokie stężenie suchej masy wynikało zapewne z długiego okresu, w którym nie były dostarczane świeże osady (odpowiednio: 2 i 3 lata). Przeprowadzane badania potwierdziły, że w dobrze eksploatowanych obiektach trzcinowych proces odwadniania zachodzi bardzo efektywnie. Skuteczne odwadnianie jest bardzo istotnym procesem przeróbki osadów ściekowych, gdyż przyczynia się do znacznego zmniejszenia objętości. Zwiększenie stężenia

---

<sup>6</sup> Kolecka K., Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., (2018). Polish experience in operation of sludge treatment reed beds. *Ecological Engineering*, 120, 405-410

<sup>7</sup> Obarska-Pempkowiak H., Tuszynska A., Sobocinski Z., (2003). Polish experience with sewage sludge dewatering in reed systems. *Water Science and Technology*, vol. 48, no 5, 111–117

<sup>8</sup> Nielsen S., (2005). Sludge reed bed facilities: operation and problems. *Water Science and Technology*, vol. 51, no9, 99–107

suchej masy do 9% powoduje zmniejszenie początkowej objętości do 14%. Natomiast osady o stężeniu suchej masy powyżej 50% posiadały jedynie 2% początkowej objętości.

Stężenie materii organicznej uzyskane w systemie trzcinowym w Gniewinie wynosiło średnio 64% s.m. i było wyższe od uzyskanych w innych systemach trzcinowych, które średnio wynosiło od 41 do 62% s.m.<sup>9,10</sup>. Natomiast w systemach w Inwałdzie i Nadolu stężenie materii organicznej wynosiło odpowiednio: 41,6 i 28,6 % s.m. W przypadku stabilizacji, podobnie jak dla procesu odwodniania, wysoka efektywność wynikała przede wszystkim z długiego czasu spoczynku (bez dostarczania osadów).

Stężenie azotu Kiejdahla w analizowanym systemie w Gniewinie wynosiło od 4,8 do 5,8% s.m. Wysokie stężenie azotu było prawdopodobnie spowodowane dużym udziałem ścieków z przemysłu spożywczego, które charakteryzowały się wysokim ładunkiem tego pierwiastka. W pozostałych analizowanych systemach w porównaniu do systemu w Gniewinie uzyskano przeszło dwukrotnie niższe stężenie azotu wynoszące 1,3 % s.m. w Nadolu oraz 2,2 % s.m. w Inwałdzie. Do wyżej wymienionych oczyszczalni dopływały jedynie ścieki bytowe, co może tłumaczyć znaczenie niższe stężenie związków biogenych. Jednak stężenie azotu w osadach z systemów trzcinowych były znacznie wyższe niż w nawozach naturalnych, które średnio wynoszą dla obornika bydlęcego 0,45, dla gnojowicy bydlęcej od 0,12 do 0,45 % s.m.<sup>11</sup>.

W przypadku fosforu w systemie trzcinowym w Gniewinie jego stężenie wynosiło od 2,7 do 4,1 % s.m. Uzyskane wysokie stężenie fosforu w osadach było spowodowane wysokim udziałem ścieków przemysłowych. Dodatkowo do systemu trzcinowego wraz z osadami nadmiernymi dostarczane były osady z chemicznego strącania fosforu w procesie oczyszczania ścieków. W pozostałych obiektach średnie stężenie fosforu wynosiło 2,1 dla Nadola i 0,7 % s.m. dla Inwałdu. Niskie stężenie fosforu w Inwałdzie związane było z rodzajem doprowadzanych osadów. Były to osady wstępne, które charakteryzują się znacznie mniejszym stężeniem fosforu niż osady nadmierne<sup>12</sup>. W osadach zakumulowanych w obiektach trzcinowych stężenie fosforu przyjmowało wartości znacznie wyższe niż jego średnie stężenie w nawozach naturalnych, które wynosiło dla obornika bydlęcego 0,087, a dla gnojownicy bydlęcej 0,017 ÷ 0,10 % s.m.<sup>11</sup>.

Stężenie metali ciężkich (kadm, nikiel, chrom, ołów, miedź, cynk) w analizowanych osadach było znacznie poniżej wartości dopuszczalnych przy wykorzystaniu rolniczym, określonym przez Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie

---

<sup>9</sup> Nielsen S., Bruun EW., (2015). Sludge quality after 10–20 years of treatment in reed bed systems. Environmental Science and Pollution Research, vol. 22, no 17, 12885-12891

<sup>10</sup> Peruzzi E., Nielsen S., Macci C., Doni S., Iannelli R., Chiarugi M., Masciandaro G., (2013) Organic matter stabilization in reed bed systems: Danish and Italian examples. Water Science and Technology, vol. 68, no 8, 1888-1894

<sup>11</sup> Roman M., Bernacka J., (2002). Problem komunalnych osadów ściekowych - możliwe rozwiązania w świetle przepisów polskich i unijnych. Materiały Konferencji nt. "Uregulowania prawne i kierunki dotyczące gospodarki osadami w Polsce oraz Unii Europejskiej", Lublin

<sup>12</sup> Bień J., (2007). Osady ściekowe. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007, 150 s.

komunalnych osadów ściekowych<sup>13</sup>. Najniższe stężenie dla wszystkich analizowanych systemów stwierdzono w przypadku kadmu. Natomiast najwyższe stężenie stwierdzono w przypadku cynku. Niskie stężenie metali w osadach zakumulowanych w obiektach trzcinowych było spowodowane brakiem przemysłu ciężkiego na terenach zlewni analizowanych oczyszczalni. Istniejący w Gniewinie przemysł spożywczy wpływa znacząco na wzrost stężenia pierwiastków biogennych i materii organicznej, nie jest jednak źródłem metali. Stężenie metali charakteryzowało się dużą zmiennością, zarówno ze względu na rodzaje metali, jak i obiekty, w których je badano.

W przypadku ftalanów stężenie DPB (ftalan di-n-butylu) w analizowanych osadach w Gniewinie przyjmowało wartości od 2,1 do 6,4 mg/kg s.m. Wg Cifci i in.<sup>14</sup> stężenie DBP w osadach ściekowych pochodzących z konwencjonalnych oczyszczalni ścieków uzyskuje wartości od 2,8 to 6,2 mg/kg s.m. Natomiast stężenie DEHP (ftalan di-2-etyloheksylu) w analizowanych osadach w Gniewinie przyjmowało wartości od 8,9 do 22,6 mg/kg s.m. Dane literaturowe wskazują, że średnie stężenie DEHP w osadach ściekowych z konwencjonalnych oczyszczalni ścieków wynosi od 18 aż do 490 mg/kg s.m.<sup>15</sup>. Zatem otrzymane stężenie było znacznie niższe.

Na podstawie wstępnych badań wazonowych stwierdzono, że dodanie nawet niewielkiej ilości ustabilizowanych osadów ściekowych powodowało znacznie lepszy wzrost roślin. Trawa (*Lolium perenne*) dobrze rozwijała się zarówno na osadach wymieszanych z piaskiem, jak i na samych osadach. Natomiast w przypadku fasoli (*Phaseolus vulgaris L*) stwierdzono, że dla rozwoju tej rośliny optymalna proporcja piasku: osadów wynosiła 5:1.

## ad. 2.

W celu oceny jakości odcieków generowanych w systemach trzcinowych oraz ich wpływu na pracę oczyszczalni wykonano następujące oznaczenia: ChZT<sub>cr</sub>, BZT<sub>5</sub>, stężenie azotu ogólnego i jego form, stężenie fosforu ogólnego i ortofosforanów. Określono również podatność odcieków na rozkład biochemiczny.

Odcieki powstają w procesach przeróbki osadów ściekowych, podczas których następuje oddzielenie fazy stałej osadu od ciekłej. W oczyszczalni w Gniewinie odcieki zawracane są na początek procesu oczyszczania ścieków, zatem bardzo istotna jest ich jakość.

Stężenie zawiesiny ogólnej w odciekach z systemu trzcinowego w Gniewinie było znacznie niższe niż w ściekach dopływających. Najwyższa wartość wynosiła 60 mg/l. Według Wójtowicza i in.<sup>16</sup> stężenie zawiesiny ogólnej w odciekach poniżej 300 mg/l nie wpływa na pracę oczyszczalni. W systemie trzcinowym w Gniewinie stwierdzono wyższe stężenie zawiesiny w pierwszej fazie formowania się odcieków. Dynamika odpływu odcieków w

---

<sup>13</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 06 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. 2015 poz. 257)

<sup>14</sup> Cifci D.I., Kinaci C., Arıkan O.A., (2013). Occurrence of Phthalates in Sewage Sludge from Three Wastewater Treatment Plants in Istanbul, Turkey. CLEAN - Soil, Air, Water, vol. 41, iss.9, 851-855

<sup>15</sup> Fromme H., Kuchler T., Otto T., Pilz K., Müller J., Wenzel A., (2002). Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in the environment. Water Research, vol. 36, iss. 6, 1429-1438

<sup>16</sup> Wójtowicz W., Jędrzejewski C., Bieniowski M., Darul H., (2013). Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej, Izba Gospodarcza "Wodociągi Polskie" Bydgoszcz, 498 s.

pierwszej fazie jest najbardziej intensywna, co ma wpływ na "wymywanie" zawiesiny ze złoża i mniejsze zatrzymywania jej w systemie.

Stężenie materii organicznej wyrażonej w BZT<sub>5</sub> w systemie trzcinowym w Gniewinie w żadnej z analizowanych próbek nie przekraczało wartości 100 mgO<sub>2</sub>/l. Natomiast badania przeprowadzone przez Gajewską<sup>17</sup> wykazały, że wartości BZT<sub>5</sub> w odciekach z komór fermentacyjnych po wirówkach wynosiły od 310 do 500 mgO<sub>2</sub>/l. Zatem w odciekach z systemu trzcinowego były wyraźnie niższe.

Stężenie materii organicznej wyrażonej jako ChZT w systemie trzcinowym w Gniewinie było wyższe w porównaniu do innych obiektów trzcinowych, w których przyjmowały wartości od 59 do 98 mgO<sub>2</sub>/l<sup>18</sup>. Może to wskazywać na problemy eksploatacyjne w systemie trzcinowym w Gniewinie. Jednak mimo problemów eksploatacyjnych w analizowanym systemie uzyskano niższe wartości niż w przypadku odcieków po prasach (średnio od 365 do 446 mgO<sub>2</sub>/l) czy odcieków z komór fermentacyjnych po wirówkach (średnio od 980 do 1400 mgO<sub>2</sub>/l)<sup>19</sup>.

W porównaniu do odcieków z innych procesów odwadniania, w odciekach z systemu trzcinowego w Gniewinie uzyskano również zdecydowanie niższe wartości azotu ogólnego. Stężenie azotu ogólnego w odciekach po odwadnianiu na prasach osadów wstępnych i nadmiernych wynosiło średnio od 26 do 31 mg/l, natomiast w odciekach z komór fermentacji po wirówkach były znacznie wyższe i przyjmowały średnie wartości od 710 do 1309 mg/l<sup>19</sup>. W przypadku azotu azotanowego w systemie trzcinowym w Gniewinie jego stężenie było bardzo zmienne (od 10,4 do 129 mg/l), a udział w azocie ogólnym wynosił od 5,4 do 46,2%. Również azot azotynowy charakteryzował się bardzo wysoką zmiennością stężenia, a jego udział przyjmował wartości od 0,01 do 20,2%. W analizowanym systemie w Gniewinie (poza 2 próbkami) azot amonowy stanowił przeważającą formę występowania azotu. Stężenie azotu amonowego w Gniewinie było jednak zdecydowanie niższe w porównaniu do jego stężenia w odciekach z komór fermentacji po wirówkach, które wg Gajewskiej<sup>17</sup> wynosiły od 692 do 1330 mg/l. Stosunkowo wysokie stężenie azotu amonowego w systemie w Gniewinie może wskazywać na panujące warunki beztlenowe i potwierdza wnioski, które sformułowano na podstawie jakości zakumulowanych osadów, że system trzcinowy w Gniewinie nie pracuje prawidłowo.

W porównaniu do wyników badań jakości odcieków z systemów trzcinowych przeprowadzonych przez Uggetti i in.<sup>20</sup>, gdzie stężenie fosforu ogólnego zmieniało się od 7 do 25 mg/l, stężenie z systemu w Gniewinie było znacznie wyższe i wynosiło od 26,9 do 42,8 mg/l. Było to spowodowane prawdopodobnie bardzo wysokim stężeniem fosforu ogólnego w

---

<sup>17</sup> Gajewska M., (2011). Oczyszczanie odcieków z mechanicznego odwadniania prefermentowanych osadów ściekowych w wielostopniowych złożach hydrofitowych, *Inżynieria Ekologiczna*, nr 25, 86-98

<sup>18</sup> Uggetti, E., Llorens, E., Pedescoll, A., Ferrer, I., Castellnou, R., García, J., (2009a). Sludge dewatering and stabilization in drying reed beds: characterization of three fullscale systems in Catalonia, Spain. *Bioresource Technology*, 100, 3882–3890

<sup>19</sup> Gajewska M., Obarska-Pempkowiak H., (2008). Wpływ zawracania odcieków z odwadniania osadów ściekowych na pracę oczyszczalni ścieków. *Przemysł Chemiczny*, tom 87, nr 5, 448-452

<sup>20</sup> Uggetti E., Llorens E., Pedescoll A., Ferrer I., Castellnou R., García J., (2009b). Sludge drying reed beds: a case study. *Journal of Residuals Science and Technology*, vol. 6, no 1, 57–59

zakumulowanych osadach i jego wymywaniem z systemu. W odciekach przeważała forma organiczna fosforu, co potwierdza postawiony powyżej wniosek. W porównaniu do odcieków z komór fermentacyjnych, gdzie stężenie wynosiło odpowiednio 336-477 mg/l dla  $P_{og}$  i 235-387 mg/l dla  $P-PO_4^{3-}$ , w Gniewinie otrzymano zdecydowanie niższe wartości.

Ze względu na to, że w Gniewinie ocieki są zawracane na początek ciągu technologicznego oczyszczalni istotna jest również ich podatność na rozkład biochemiczny. W roku 2017 wartość ilorazu  $ChZT:BZT_5$  świadczył o tym, że ocieki były średnio lub łatwo rozkładalne biologicznie. Mniej korzystna proporcja występowała w pierwszej godzinie odpływu odcieków. W kolejnych godzinach iloraz ten nie zmieniał się lub ulegał obniżeniu. W roku 2018 wartość  $ChZT:BZT_5$  wskazywała na znacznie gorszą podatność na rozkład biologiczny<sup>21</sup>. W próbkach w kwietniu 2018 roku iloraz  $ChZT:BZT_5$  przekraczał 5, co według Mikscha i Sikory<sup>22</sup> świadczyły o braku podatności na rozkład biologiczny. Regularne zasilanie systemu powodowało, że w odciekach znajdowało się więcej materii łatwo rozkładalnej, a tym samym wartość ilorazu  $ChZT:BZT_5$  była bardziej korzystna. Natomiast wartość ilorazu  $BZT_5:N_{og}$  we wszystkich analizowanych próbkach była zdecydowanie za niska w porównaniu do zalecanych wartości<sup>22</sup>. Jednak średnia proporcja  $BZT_5:N_{og}$  w ściekach dopływających do oczyszczalni była stosunkowo wysoka i wynosiła 6,8. Zatem doprowadzenie odcieków z systemu trzcinowego do dopływających ścieków nie wpływało znacząco na pogorszenie biodegradowalności ścieków.

Pomimo, że system trzcinowy w Gniewinie nie pracował prawidłowo, jakość odcieków była bardzo dobra. W przypadku zawiesiny ogólnej,  $BZT_5$  oraz  $ChZT$  ich wartości w odciekach były znacznie niższe niż w ściekach dopływających do oczyszczalni. W przypadku azotu i fosforu ich stężenie w odciekach było wyższe niż w ściekach dopływających, jednak ze względu na małą ilość generowanych i zawracanych odcieków na początek układu technologicznego oczyszczalni ścieków, nie występowało niebezpieczeństwo pogorszenia pracy oczyszczalni.

### **ad. 3.**

W celu określenia możliwości usuwania nowopojawiających się zanieczyszczeń wykonano oznaczenia stężenia ftalanów w zakumulowanych w systemie trzcinowym osadach oraz wybranych farmaceutyków w płynnej frakcji osadów oraz w odciekach. Przeprowadzono również bilans farmaceutyków zatrzymanych w systemie trzcinowym uwzględniający ilość leków doprowadzonych i odprowadzonych z systemu.

W systemie w Gniewinie najwyższe stężenie DPB (ftalan di-n-butyłu) stwierdzono na głębokości wynoszącej od 20 do 60 cm, wynosiło ono odpowiednio 6,4 mg/kg s.m. (dla warstwy osadów na głębokości 20-40 cm) i 5,5 mg/kg s.m. (dla warstwy osadów na głębokości 40-60 cm). Natomiast najniższe stężenie, wynoszące 2,1 mg/kg s.m. występowało w warstwach najniższych. DPB należy do trwałych związków organicznych, których degradacja jest

---

<sup>21</sup> Heidrich Z., Kalenik M., Podedworna J., Stańko G., (2008). Sanitacji wsi. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa

<sup>22</sup> Miksch K., Sikora J., (2010). Biotechnologia ścieków. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa



możliwa, jednak wymaga dużych ilości tlenu<sup>23</sup>. Najgłębsze warstwy osadów były stabilizowane najdłużej, dodatkowo stabilizacja ta zachodziła jeszcze przed wystąpieniem problemów eksploatacyjnych. Zatem prawdopodobnie dostępny był tlen, który przyczynił się do obniżenia stężenia DPB.

Natomiast w przypadku DEHP (ftalan di-2-etyloheksylu) w osadach z Gniewina stwierdzono wyraźny wzrost stężenia wraz z głębokością (od 8,9 do 22,6 mg/kg s.m.). Przy czym, mimo wzrostu stężenia, było one znacznie niższe niż w przypadku osadów ściekowych z konwencjonalnych metod przeróbki. Niskie stężenie DEHP może wskazywać, że w znacznym stopniu ulegał on biodegradacji podczas stabilizacji. Pozostała część prawdopodobnie nie jest już podatna na degradację lub wymaga dłuższego czasu. Można przypuszczać, że wzrost wartości wraz z głębokością jest spowodowany rozkładem materii organicznej przy jednoczesnym zatrzymaniu DEHP.

Dotychczas nie prowadzono badań stężenia farmaceutyków w płynnej frakcji osadów oraz w odciekach z procesów odwadniania osadów ściekowych. Wartości ibuprofenu uzyskane w analizowanych próbkach w Gniewinie były wyraźnie niższe od wartości podanych dla ścieków w literaturze, które wynosiły od 3,73 do 353 µg/l<sup>24</sup>. Według Zhang i in.<sup>25</sup> stężenie paracetamolu w ściekach przyjmowało wartości powyżej 6 µg/l. W analizowanych próbkach z Gniewina paracetamolu nie stwierdzono w żadnej z próbek w roku 2017, natomiast najwyższe jego stężenie wystąpiło w płynnej frakcji osadów we wrześniu 2018 i wynosiło 1,076 µg/l. W przypadku naproksenu w ściekach stwierdzono, że jego stężenie przyjmowało wartości średnie od 2,02 do 8,50 µg/l<sup>25</sup>. W badaniach w Gniewinie naproksen występował w niewielu próbkach, a jeśli był obecny, to jego stężenie było wyraźnie niższe niż w ściekach surowych. Badania diklofenaku i jego metabolitów wykazały, że średnie stężenie w ściekach wynosiło 2,2 µg/l dla diklofenaku, 0,42 µg/l dla 4OH diklofenaku i 0,26 µg/l dla 5OH diklofenaku<sup>26</sup>.

W kilku próbkach stwierdzono obecność farmaceutyków w odciekach, mimo że nie były obecne w płynnej frakcji osadów. W przypadku ibuprofenu jedynie we wrześniu 2017 roku nie stwierdzono jego obecności w odciekach. W pozostałych próbkach był obecny w odciekach, mimo że nie występował w płynnej frakcji osadów lub jego stężenie w osadach było niższe niż w odciekach. Różnice w obecności i stężeniu analizowanych farmaceutyków w badanym systemie trudno jest obecnie wyjaśnić. Mogą mieć na nie wpływ przemiany farmaceutyków zarówno w organizmie człowieka, jak i podczas procesów oczyszczania ścieków w oczyszczalniach oraz w samym systemie trzcinowym. Podczas tych przemian mogą powstawać metabolity farmaceutyków. Na przykład w przypadku diklofenaku w wodach naturalnych zidentyfikowano obecność aż 7 jego metabolitów. Dodatkowo w wyniku

---

<sup>23</sup> Aparicio I., Santos J. L., Alonso E., (2009) Limitation of the concentration of organic pollutants in sewage sludge for agricultural purposes: a case study in South Spain. *Waste Management*, 29, 1747–1753

<sup>24</sup> Santos J.L., Aparicio I., Callejón M., Alonso E., (2009). Occurrence of pharmaceutically active compounds during 1-year period in wastewaters from four wastewater treatment plants in Seville (Spain). *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, 1509–1516

<sup>25</sup> Zhang L., Hu J., Zhu R., Zhou Q., Chen J., (2013). Degradation of paracetamol by pure bacterial cultures and their microbial consortium. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 97, no 8, 3687-3698

<sup>26</sup> Stülten, D., Zühlke, S., Lamshöft, M., Spitteller, M., (2008). Occurrence of diclofenac and selected metabolites in sewage effluents. *Science of the Total Environment*, vol. 405, 310–316

zachodzących przemian w warunkach tlenowych i beztlenowych mogą się pojawić nowe związki<sup>27</sup>.

W większości analizowanych próbek z Gniewina nie występował ibuprofen, paracetamol, flubiprofen oraz naproksen. Wyjątkiem były próbki z września 2018 roku, gdzie w większości przypadków farmaceutyki te występowały, zarówno w frakcji płynnej osadów, jak i w odpływie. Obecność wyżej wymienionych farmaceutyków (poza naprokselem) w płynnej frakcji osadów wynikała przede wszystkim z ich wysokiego stężenia w ściekach dopływających. W próbkach, w których można było obliczyć efektywność usuwania farmaceutyków była bardzo wysoka i wynosiła od 93,2 do 99,8%.

#### **ad. 4.**

Przemiany stabilnych izotopów węgla określono w celu potwierdzenia procesu stabilizacji.

Stabilne izotopy węgla są wskaźnikami pochodzenia materii organicznej oraz zachodzących procesów. Materia organiczna pochodzenia lądowego (allochtonicznego) jest zubożona w izotop  $^{13}\text{C}$  (zazwyczaj  $\delta^{13}\text{C} < -28\text{‰}$ ) w porównaniu do materii organicznej pochodzenia autochtonicznego ( $\delta^{13}\text{C} \sim -22\text{‰}$ ). Wskaźnik  $\delta^{13}\text{C}$  zmienia się również podczas sedymentacji, degradacji i transformacji materii organicznej<sup>28</sup>. Niższe wartości  $\delta^{13}\text{C}$ -TOC sugerują, że proces mineralizacji zachodzi mniej efektywnie. Wynika to z uwalniania  $\text{CO}_2$ , które zachodzi podczas procesu mineralizacji powodując wzrost wartości  $\delta^{13}\text{C}$  w zakumulowanym materiale<sup>29</sup>.

Wskaźnik  $\delta^{13}\text{C}$ -TOC w systemie trzcinowym w Gniewinie przyjmował wartości od - 26,38 do - 24,40 ‰. Otrzymane w Gniewinie wartości potwierdzają, że część materii organicznej, która była dostarczona do systemu ze świeżymi osadami, została tam przekształcona, natomiast część materii organicznej również została wyprodukowana w systemie. Najniższą wartość wskaźnika  $\delta^{13}\text{C}$ -TOC uzyskano w najgłębszej warstwie w kwaterze nr 3, na której ze względu na problemy eksploatacyjne trzcina częściowo obumarła. Sugeruje to, że proces mineralizacji w tej kwaterze zachodzi najmniej efektywnie. Również niską wartość uzyskano w kwaterze nr 1, która była eksploatowana tylko jeden rok. Natomiast najwyższą wartość  $\delta^{13}\text{C}$ -TOC uzyskano w najgłębszej warstwie w kwaterze nr 6, która była bardzo dobrze zasiedlona trzcina. Potwierdza to, że obecność trzciny, jak również odpowiednio długi czas retencji mają wpływ na intensywność procesu mineralizacji. Większe zasiedlenie systemu trzcina i dłuższy czas akumulacji osadów wpływają pozytywnie na efektywność procesu rozkładu materii organicznej.

---

<sup>27</sup> Lonappan L., Brar S.K., Das R.K., Verma M., Surampalli R.Y., (2016). Diclofenac and its transformation products: environmental occurrence and toxicity - a review. *Environment International*, vol. 96, 127–138

<sup>28</sup> Torres I. C., Inglett P.W., Brenner M., Kenney W. F., Reddy K. R., (2012). Stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) values of sediment organic matter in subtropical lakes of different trophic status. *Journal of Paleolimnology*, vol. 4, 693-706

<sup>29</sup> Hellings L., Dehairs F., Tackx M., Keppens E. and Baeyens W., (1999). Origin and fate of organic carbon in the freshwater part of the Scheldt Estuary as traced by stable carbon isotope composition. *Biogeochemistry*, vol. 47, 167-186

Wyższe wartości wskaźnika  $\delta^{13}\text{C}$ -TOC uzyskano w złożach trzcinowych, w których proces mineralizacji zachodził bardziej efektywnie<sup>30</sup>.

**ad. 5.**

Wykonana analiza metagenomowa pozwoliła na oszacowanie bioróżnorodności oraz składu biocenozy bakteryjnej w systemach trzcinowych w celu określenia kierunku przemian osadów w trakcie stabilizacji.

Bioróżnorodność gatunkową określono na podstawie indeksu  $\alpha$ , który jest szacowany na podstawie efektywnej liczby gatunków oraz średniej różnorodności gatunkowej przypadającej na operacyjną jednostkę taksonomiczną (OJT). Kwatera nr 6, która była najdłużej eksploatowana i dobrze porośnięta trzciną, wykazywała statystycznie wyższą bioróżnorodność w porównaniu do pozostałych analizowanych złóż. Świadczyły o tym wyższe wartości indeksu  $\alpha$ , jak i liczba unikalnych sekwencji DNA przypadających na 1000 odczytów. Natomiast najniższą bioróżnorodnością charakteryzowała się kwatera nr 1, która była eksploatowana jedynie przez rok. Natomiast w profilu pionowym złoża największą bioróżnorodność mikroorganizmów stwierdzono w strefie powierzchniowej kwater (głębokość od 0 do 25 cm), co jest prawdopodobnie spowodowane sposobem ich zasilania (od góry) oraz lepszą dostępnością tlenu.

Biocenoza analizowanych kwater trzcinowych tworzy strukturę pośrednią pomiędzy ekosystemem glebowym, a biocenozą osadu czynnego. Świadczy o tym udział niezidentyfikowanych typów bakterii, które są konsekwencją obecności słabo scharakteryzowanych lub dotychczas nie odkrytych form<sup>31</sup>. W systemach oczyszczania ścieków mikroorganizmy osadu czynnego zostały względnie szczegółowo opisane w szerokim zakresie grup filogenetycznych. Oprócz licznych niezidentyfikowanych mikroorganizmów, we wszystkich badanych próbkach stwierdzono dominujący udział trzech typów bakterii: *Bacteroidetes*, *Firmicutes* oraz *Proteobacteria*. Udział reprezentantów tych trzech grup w każdej z analizowanych próbek był zawsze powyżej 10% populacji ogólnej. Dwa pierwsze z wymienionych typów są znane jako organizmy o dominującym heterotroficznym metabolizmie, co może świadczyć o wysokim potencjale biocenozy systemu trzcinowego do biodegradacji materii organicznej, w tym nawet o bardzo złożonej strukturze<sup>32</sup>.

W próbkach osadów z kwater nr 6 i 1 istotną grupę stanowili reprezentanci typu *Nitrospirae*. Ich obecność w osadach z wyżej wymienionych kwater wynosił od 2 do 6%. W przypadku kwatery 3 udział tych bakterii kształtował się poniżej 1%. Do bakterii typu *Nitrospirae* należą m.in. tlenowe bakterie z rodzaju *Nitrospira*, które są odpowiedzialne za drugą fazę nityfikacji.

---

<sup>30</sup> Kolecka K., Gajewska M., Obarska-Pempkowiak H., Rohde D., (2017a). Integrated dewatering and stabilization system as an environmentally friendly technology in sewage sludge management in Poland. *Ecological Engineering*, 98, 346-353

<sup>31</sup> Bach E.M., Williams R.J., Hargreaves S.K., Yang F., Hofmockel K.S., (2018). Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 118, 217-226

<sup>32</sup> Gibiino G., Lopetuso L.R., Scaldaferrì F., Rizzatti G., Binda C., Gasbarrini A., (2018). Exploring *Bacteroidetes*: Metabolic key points and immunological tricks of our gut commensals. *Digestive and Liver Disease*, vol.50, iss. 7, 635-639

W odróżnieniu od kwatery 6 i 1, unikalnym komponentem biocenozy kwatery nr 3 były bakterie zaklasyfikowane do typów: *Spirochaetes* i *Acidobacteria*. Przedstawiciele *Spirochaetes* posiadają zdolność do zasiedlania zróżnicowanych nisz ekologicznych, przy czym są to głównie mikroorganizmy wolnożyjące preferujące warunki anaerobowe<sup>33</sup>. W przypadku typu *Acidobacteria* jego reprezentanci występują powszechnie w glebach, przy czym preferują środowisko charakteryzujące się niskim pH<sup>34</sup>. Obecność bakterii należących do typów *Spirochaetes* i *Acidobacteria*, przy jednoczesnym ograniczonym występowaniu tlenowców z typu *Nitrospira*, dodatkowo potwierdza niedostateczne natlenienie kwatery oraz prawdopodobnie zakwaszenie stabilizowanych osadów.

### **Najważniejsze osiągnięcia wynikające z przeprowadzonych badań:**

- Po raz pierwszy przeprowadzono kompleksowe badania systemów trzcinowych zlokalizowanych w Polsce. Badania obejmowały zarówno jakość osadów zakumulowanych w systemach trzcinowych i generowanych odcieków, jak również biocenozę zasiedlającą system trzcinowy.
- Wykazano, że osady stabilizowane w systemach trzcinowych charakteryzowały się wysokim stężeniem związków biogennych oraz niskim stężeniem metali i ftalanów, mogą być zatem stosowane jako komponent nawozów lub składnik glebotwórczy.
- Wykazano również, że generowane odcieki były dobrej jakości i mogą być zawracane na początek oczyszczalni ścieków bez negatywnego wpływu na jej pracę.
- Po raz pierwszy wykonano oznaczenia farmaceutyków w systemach trzcinowych wykorzystywanych do odwadniania i stabilizacji osadów. Na podstawie uzyskanych wyników i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że analizowane farmaceutyki były efektywnie zatrzymywane w kwaterach systemu trzcinowego
- Badania stabilnych izotopów węgla przeprowadzone w systemie trzcinowym w Gniewinie potwierdziły, że zachodzi proces mineralizacja. Efektywność procesu zależy zarówno od czasu eksploatacji, jak również od stopnia zasiedlenia kwater trzciną.
- Przeprowadzona analiza metagenomowa pozwoliła na określenie bioróżnorodności oraz składu biocenozy zasiedlającej system trzcinowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że bioróżnorodność organizmów obecnych w systemach trzcinowych zależy m.in. od czasu eksploatacji i gęstości zasiedlenia kwatery trzciną. Największa bioróżnorodność gatunkową występowała w powierzchniowych warstwach badanych kwater. Natomiast najniższą bioróżnorodnością charakteryzowała się kwatera eksploatowana najkrócej. Wykazano, że rozkład materii organicznej w systemach trzcinowych następował zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych.

### **Możliwość wykorzystania wyników**

---

<sup>33</sup> <http://ssu.ac.ir/cms/>

<sup>34</sup> Kielak A.M., Barreto C.C., Kowalchuk G.A., van Veen J.A., Kuramae E.E., (2016). The Ecology of *Acidobacteria*: Moving beyond Genes and Genomes. *Front Microbiology*, vol. 7, 744

- Wykazano możliwość zastosowania systemów trzcinowych do przeróbki osadów ściekowych. Potwierdzono, że w prawidłowo eksploatowanych obiektach procesy odwadniania i stabilizacji zachodzą bardzo efektywnie, a otrzymany materiał może być stosowany jako nawóz lub do rekultywacji gruntu. Potwierdziły to wstępne badania wazonowe, które pokazały, że dodanie osadów ustabilizowanych w systemach trzcinowych przyczyniało się do lepszego wzrostu roślin.
- Wykazano, że ze względu na dobrą jakość generowanych odcieków oraz ich niewielką ilość mogą być one bezpiecznie zwracane na początek procesu oczyszczania ścieków (bez konieczności ich podczyszczania) bez negatywnego wpływu na pracę oczyszczalni.
- Wykazano, że analiza stabilnych izotopów węgla może być wskaźnikiem zachodzących procesów.
- Potwierdzono, że analiza metagenomowa może być wykorzystywana w celu oceny przebiegu procesów i być może ich kontroli w celu uzyskania produktu o oczekiwanej jakości.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

### **a) Przed uzyskaniem stopnia doktora**

Studia magisterskie rozpoczęłam w 1997 r. na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej (obecnie Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska). W 2002 r. pod opieką prof. dr hab. inż. Krystyny Olańczuk-Neyman przygotowałam pracę magisterską pt. „Ocena jakości wód podziemnych piętra kredowego na wybranych ujęciach gdańskich w świetle nowego rozporządzenia” i ukończyłam studia z wynikiem bardzo dobrym zdobywając tytuł magistra inżyniera na kierunku inżynierii środowiska specjalność inżynieria sanitarna.

Od października 2002 r. kontynuowałam naukę jako słuchaczka studium doktoranckiego „Geotechnika i Inżynieria Środowiska” na Wydziale Inżynierii Środowiska i Budownictwa Wodnego Politechniki Gdańskiej (obecnie Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska). Początkowo moja zainteresowania dotyczyły możliwości uzdatniania wody przy użyciu magnetyzatorów (Zał. 4, II E 29 i 30). Ze względu na zmianę promotora zainteresowałam się systemami hydrofitowymi. Początkowo moje zainteresowania dotyczyły upraw wierzby energetycznej nawadnianej ściekami i osadami ściekowymi (Zał. 4, II E 26 i 28). Ostatecznie zdecydowałam się na temat związany z wykorzystaniem złóż trzcinowych do utylizacji osadów ściekowych. W konsekwencji właśnie na ten temat napisałam rozprawę doktorską pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Hanny Obarskiej-Pempkowiak. Realizacja rozprawy była możliwa dzięki otrzymaniu grantu promotorskiego nr N207 064 31/3100 pt. „Długookresowe zmiany specjacji metali ciężkich w osadach ściekowych utylizowanych w złożach trzcinowych” (Zał. 4, II J 9). Pracę doktorską pod takim samym tytułem jak grant obroniłam 25 września 2007 r.

Ze względu na brak w tamtym czasie obiektów trzcinowych do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych długookresowo eksploatowanych i zlokalizowanych w Polsce, materiał badawczy pochodził z czterech duńskich systemów trzcinowych. Celem rozprawy doktorskiej była ocena stężenia labilnych i stabilnych połączeń metali ciężkich w osadach ściekowych doprowadzonych do złóż trzcinowych. Określono również zmiany jakości osadów ściekowych podczas długookresowej stabilizacji w obiektach trzcinowych. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że badane metale ze względu na wysokość stężenia można było podzielić na 4 grupy. Pierwszą grupę stanowił kadm, który charakteryzował się najniższym stężeniem rzędu 1 mg/kg s.m. Drugą grupę stanowiły trzy metale: ołów, chrom i nikiel. Ich stężenie było na poziomie kilkudziesięciu mg/kg s.m. Trzecią grupę stanowiły Cu i Zn, których stężenie było rzędu kilkuset mg/kg s.m. Natomiast najwyższe stężenie rzędu kilku a nawet kilkunastu tysięcy mg/kg s.m. stwierdzono w przypadku glinu i żelaza. Metale ciężkie w analizowanych osadach charakteryzowały się stężeniem poniżej wartości dopuszczalnych obowiązujących przy ich rolniczym wykorzystaniu. W większość badanych próbek osadów utylizowanych w złożach trzcinowych badane metale związane były przede wszystkim z najbardziej stabilną frakcją. Natomiast najbardziej mobilnym metalem okazał się cynk. Przeprowadzona specjacja osadów utylizowanych w basenach trzcinowych wykazała, że długookresowa stabilizacja umożliwia uzyskanie bezpiecznego produktu.

## **b) Po uzyskaniu stopnia doktora**

Moje zainteresowania badawcze po uzyskaniu stopnia doktora można zakwalifikować do następujących obszarów tematycznych:

1. Badań właściwości nawozowych różnych osadów
2. Zastosowania naturalnych metod w gospodarce ściekowej
3. Analizy oddziaływania obiektów hydrofitowych na środowisko
4. Specyficznych zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków

### **ad.1**

Zainteresowania naukowe dotyczące: "Badania właściwości nawozowych różnych osadów" opisano w następujących publikacjach: Zał. 4 II A 4, 8, 9, 12, II 19, 20, 22

Celem podjętych badań było określenie jakości osadów ściekowych stabilizowanych w systemach trzcinowych zlokalizowanych w konwencjonalnych oczyszczalniach ścieków, oczyszczalniach ścieków z wysokim udziałem ścieków przemysłowych oraz osadów dennych pochodzących z ekologicznych systemów stosowanych w III stopniu oczyszczania ścieków. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie ich właściwości nawozowych.

Początkowo wyżej wymieniony temat był kontynuacją zagadnień podjętych w rozprawie doktorskiej.

Badania przeprowadzone w systemach trzcinowych stosowanych do przeróbki osadów z konwencjonalnych oczyszczalni ścieków wykazały, że osady te ulegały stabilizacji. Świadczył o tym spadek stężenia materii organicznej średnio z 51,4 do 36,6%. We wszystkich analizowanych obiektach najniższym stężeniem charakteryzowały się najgłębsze warstwy, a więc warstwy osadów najdłużej utylizowane. Osady ściekowe utylizowane w złożach trzcinowych w długim okresie czasu charakteryzowały się zmniejszeniem stężenia azotu Kiejdahla wraz z głębokością od 2,8% do 1,5% s.m. Spadek stężenia azotu spowodowany był prawdopodobnie zachodzącymi przemianami fizyczno-chemicznymi zachodzącymi w pobliżu korzeni trzciny oraz stosunkowo wysokim poborem azotu przez trzinę. Jednak mimo obniżenia stężenia azotu, były one w dalszym ciągu bardzo wysokie (znacznie wyższe niż w gnojowicy). Stężenie fosforu ogólnego w osadach utylizowanych w złożach trzcinowych ulegało zwiększeniu średnio od 3,5 do 5,2% s.m. wraz z głębokością. Natomiast stężenie metali ciężkich w osadach było znacznie poniżej wartości obowiązujących przy ich rolniczym wykorzystaniu.

W roku 2009 jako główny wykonawca otrzymałam grant badawczy "Transformacja związków fosforu w ekologicznych systemach oczyszczających" (Zał.4 II J 7) oraz w 2010 dotację docelową Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku (Zał.4 II J 8). Dzięki uzyskanemu dofinansowaniu prowadzone badania rozszerzone zostały o właściwości nawozowe osadów dennych pochodzących z ekologicznych systemów stosowanych jako III stopień oczyszczania ścieków.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono wysokie stężenie azotu wynoszące od 3,0 do 4,2% s.m. Ponadto osady te były bardzo bogatym źródłem biodostępnego fosforu.

Udział form dostępnych biologicznie w osadach dennych, określonych na podstawie specjacji fosforu, stanowił ok. 80% w fosforze całkowitym. Wykazano również, że stężenie wybranych metali ciężkich w analizowanych osadach nie przekraczało wartości dopuszczalnych przy ich rolniczym wykorzystaniu zgodnie z obowiązującym w Polsce rozporządzeniem. Bariere w rolniczym wykorzystaniu stanowi wysokie uwodnienie osadów i obecność patogenów - bakterii chorobotwórczych, pierwotniaków, grzybów i pasożytów.

W 2015 podjęłam współpracę z Gniewińskim Przedsiębiorstwem Komunalnym i uzyskałam z tego przedsiębiorstwa dofinansowanie badań (Zał. 4 III F 1). Pozwoliło to poszerzyć badania o system trzcinowy zlokalizowany na oczyszczalni w Polsce. Istotne jest, że w oczyszczalni tej udział ścieków przemysłowych wynosił ok. 35%.

W analizowanym systemie trzcinowym - eksploatowanym krócej niż obiekty duńskie stwierdzono wzrost stężenia suchej masy z 1,1% do 15,5% i w tym samym czasie spadek stężenia materii organicznej z 71,2% do 52,4% s.m. Osady te charakteryzowały się bardzo wysokim stężeniem azotu Kiejdahla, który wynosił średnio 3,6% s.m. Tak wysokie stężenie azotu było spowodowane wysokim udziałem ścieków z przemysłu spożywczego (mleczarnia i przemysł rybny) w ściekach dopływających do oczyszczalni. Stężenie fosforu wynosiło 3,5% s.m. i były porównywalne do tych uzyskanych w osadach z systemów duńskich. Również w przypadku obiektu polskiego stężenie metali ciężkich w osadach było poniżej wartości obowiązujących przy ich rolniczym wykorzystaniu.

Podsumowując, zarówno osady ściekowe stabilizowane w systemach trzcinowych (konwencjonalnych oraz z wysokim udziałem ścieków przemysłowych), jak również osady denne pochodzące z ekologicznego systemu oczyszczającego charakteryzują się wysokim stężeniem związków biogenych. Stężenie to jest znacznie wyższe niż w przypadku nawozów naturalnych, takich jak np. gnojowica. We wszystkich analizowanych osadach stwierdzono niskie stężenie metali ciężkich, poniżej wartości dopuszczalnych przy rolniczym wykorzystaniu. Problem w przypadku osadów dennych stanowi obecność mikroorganizmów chorobotwórczych oraz wysokie ich uwodnienie. Te problemy nie występują w osadach stabilizowanych w systemach trzcinowych.

## **ad.2**

Zagadnienia związane z tematem "Zastosowanie naturalnych metod w gospodarce ściekowej" przedstawione zostały w następujących publikacjach: Zał. 4 II A 2, 6, 7, II E 3, 6, 15, 16.

Celem podejmowanych aktywności naukowych było przedstawienie możliwości nowych zastosowań metody hydrofitowej w zagospodarowaniu ścieków i osadów ściekowych.

W 2010 roku podjęłam współpracę z członkami grupy badawczej pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. Hanny Obarskiej-Pempkowiak. W 2015 roku grupa badawcza, której jestem członkiem, dla swoich działań otrzymała dofinansowania z projektu pt. "Strategies for sustainable communal wastewater management in the Baltic Sea Region (SUWMAB)" (Zał. 4 II J 4).

W przeprowadzonych badaniach uwzględniono następujące obiekty: (i) oczyszczalnie hydrofitowe lokalne przeznaczonych do biologicznego oczyszczania ścieków (pochodzących



od 15 do 750 mieszkańców) po wstępnym mechanicznym ich oczyszczaniu w osadniku gnilnym; (ii) przydomowe oczyszczalnie ścieków z zastosowaniem metody hydrofitowej, (iii) obiekty pilotowe pracujące w skali technicznej do oczyszczania odcieków z mechanicznego odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych, (iv) systemy trzcinowe przeznaczone do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych z konwencjonalnych oczyszczalni ścieków.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że w obiektach hydrofitowych ma miejsce wiele różnorodnych procesów umożliwiających usuwanie zanieczyszczeń. Jest to wynikiem specyficznych warunków zapewniających zarówno rozwój mikroorganizmów, jak i hydrofitów. Ich współdziałanie przyczynia się do intensyfikacji reakcji utleniania i redukcji odpowiedzialnych za usuwanie i retencję zanieczyszczeń. Procesy te są wspomagane przez procesy sorpcji, sedimentacji i asymilacji. W przypadku lokalnych oczyszczalni, jak i przydomowych oczyszczalni ścieków, uzyskane wyniki potwierdziły wysoką efektywność usuwania materii organicznej wyrażonej w BZT<sub>5</sub> i CHZT wynoszącej odpowiednio 64,0-92,0% oraz 65,7-89,6%. Natomiast dla azotu efektywność usuwania wynosiła 44,0-77,0%, a dla fosforu 24,0-66,0%. W przypadku stosowania obiektów hydrofitowych do oczyszczania odcieków na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że pomimo bardzo złej jakości odcieków uzyskano wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń wynoszącą dla ChZT średnio 77,7% i dla N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 83,3%. Natomiast w systemach trzcinowych do odwadniania i stabilizacji osadów potwierdzono, że uzyskany materiał może być wykorzystany jako nawóz.

Wzrost popularności metody hydrofitowej wynika z postępu odnoszącego się do zastosowań oraz eliminacji ewentualnych wad tej technologii. Np. do niedawna uważano, że oczyszczalnie hydrofitowe mogą być stosowane w drugim stopniu oczyszczania ścieków maksymalnie do 2000 RLM (Równoważnej Liczby Mieszkańców) z powodu dużego zapotrzebowania na jednostkową powierzchnię przypadającą na równoważnego mieszkańca. Ostatnio stosowane powierzchnie jednostkowe znacznie się zmniejszyły, co doprowadziło do budowy obiektów oczyszczających ścieki pochodzące nawet od 3500 RLM. Odpowiedni dobór technologii uwzględniający zastosowanie wielostopniowych złóż ze zmiennym poziomym i pionowym przepływem ścieków pozwolił na zmniejszenie jednostkowej powierzchni do 1,75 m<sup>2</sup>/RLM (w porównaniu z dotychczas zalecanymi wartościami wynoszącymi 4-6 m<sup>2</sup>/RLM).

### **ad.3**

Zagadnienia związane z "Analizą oddziaływania obiektów hydrofitowych na środowisko" przedstawiono w następujących publikacjach: Zał. 4 II A 2, 4, E 1, 2, 3, 14.

Celem działań naukowych z trzeciego obszaru zainteresowań była ocena wpływu systemów hydrofitowych na środowisko przyrodnicze. Ocenę tę wykonano na podstawie przeprowadzonych badań w obszarze zagadnień 1 i 2 oraz zdobytej wiedzy w czasie realizacji wyżej wymienionych zagadnień.

Przeprowadzona analiza wykazała, że systemy trzcinowe bardzo dobrze wpisują się z zagadnienia związane z gospodarką o obiegu zamkniętym (tzw. circular economy). Gospodarka ta zakłada ograniczenie do minimum wpływu oddziaływania na środowisko podczas tworzenia produktów. Polega to na wyborze substratów oraz stosowanej technologii, która umożliwi

ponowne wykorzystanie emitowanych do środowiska składników i energii (zanieczyszczeń). Systemy hydrofitowe w gospodarce o obiegu zamkniętym wpisują się w następujących obszarach: (i) ponowne wykorzystanie wody (oczyszczanie ścieków szarych w celu ich ponownego użycia lub do rekreacji, oczyszczanie i magazynowanie wody deszczowej, usuwanie trwałych zanieczyszczeń organicznych o niskim stężeniu, doczyszczanie ścieków po procesie oczyszczania jako trzeci stopień w celu ponownego wykorzystania oczyszczanych ścieków), (ii) odzysk związków biogennych (produkcja nawozów z osadów ściekowych, wstępne oczyszczenie przed fertygacją (iii) odzysk związków fosforu ze ścieków za pomocą nowych wypełnień zapewniających efektywną adsorpcję, (iv) produkcja energii (biogazownie - systemy hydrofitowe do oczyszczania wód pofermentacyjnych, systemy hydrofitowe jako miejsca do produkcji biomasy), (v) ekosystemy (wielofunkcyjne systemy hydrofitowe do gromadzenia wód deszczowych, rekreacji i sztucznych mokradeł, tworzenie sztucznych ekosystemów - zielone dachy, zielone ściany, obszary zielone wewnątrz budynków, parki). Dodatkowo systemy hydrofitowe usuwają CO<sub>2</sub> z atmosfery w procesach realizowanych przez hydrofity oraz są siedliskiem wielu organizmów, przyczyniając się do wzrostu bioróżnorodności. Zwiększają one transpirację, przyczyniają się do lokalnego gromadzenia wody, poprawiając retencję.

Dodatkowo w 2015 roku działania naukowe z wyżej wymienionego obszaru zostały poszerzone o badania odcieków odprowadzanych z systemu trzcinowego, sfinansowanego przez Gniewińskie Przedsiębiorstwo Komunalne (Zał. 4 III F 1). Przeprowadzone badania udowodniły, że zastosowanie systemu hydrofitowego do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych generuje odcieki, które nie oddziałują negatywnie na procesy oczyszczania ścieków, przy ich zwracaniu do głównego ciągu technologicznego.

Wdrożenie metody hydrofitowej w Polsce na większą skalę, mogłoby rozwiązać problemy małych i średnich oczyszczalni z zagospodarowaniem osadów ściekowych. Nie generując przy tym odcieków o wysokim stężeniu zanieczyszczeń, które zwykle stanowią produkt uboczny. Przedstawiona wiedza teoretyczna oraz uzyskane wyniki, są podstawą do dalszej pracy i poszerzenia wiedzy na temat zastosowania i działania systemów hydrofitowych do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych.

#### **ad.4**

Natomiast temat: "Specyficzne zanieczyszczenia w oczyszczalniach ścieków" przedstawiono w publikacjach: Zał. 4 II A 1, 4, E 9.

Celem zainteresowań badawczych było przeprowadzanie badań dotyczących zanieczyszczeń specyficznych odnoszących się do specjacji metali ciężkich w systemach trzcinowych oraz wybranych farmaceutyków w oczyszczalniach z zastosowaniem różnych technologii oczyszczania ścieków oraz przeróbki osadów.

Początkowo, podobnie jak w przypadku pierwszego obszaru badawczego, badania były kontynuacją zagadnień z rozprawy doktorskiej i polegały na określeniu specjacji metali ciężkich. Badania specjacji wykonano z wykorzystaniem metody ekstrakcji sekwencyjnej zmodyfikowanej wg procedury BSR. Na podstawie ekstrakcji wyodrębniono frakcję (I) - jonowymienną i węglanową (najbardziej mobilną), frakcję (II) - wodorotlenkową (związaną z

tlenkami i wodorotlenkami żelaza i magnezu), frakcję (III) - organiczną oraz frakcje (IV) - rezydualną (najbardziej stabilną). W badaniach stwierdzono, że na specjację analizowanych metali miał wpływ czas odpoczynku, tzn. czas w którym nie były doprowadzane świeże osady. Udział procentowy mobilnych frakcji (I), (II) i (III) w osadach ze złóż trzciniowych, do których nie dostarczano świeżych osadów dłużej niż 2 miesiące nie przekraczał 10,0%. Natomiast w osadach ze złóż zasilonych zaledwie 2 tygodnie przed poborem próbek udział frakcji był wyraźnie wyższy i w kilku próbkach przekraczał nawet 30,0%. We wszystkich analizowanych profilach osadów dominowała frakcja (IV), chociaż stosunkowo duże stężenie żelaza zaobserwowano również we frakcji (II).

W roku 2017 otrzymałam projekt w ramach programu MINIATURA nr 2017/01/X/ST8/00844 pt. "Wpływ procesów oczyszczania ścieków komunalnych na rozmieszczenie wybranych zanieczyszczeń nowej generacji". Dzięki dofinansowaniu rozszerzyłam badania zanieczyszczeń specyficznych o wybrane farmaceutyki w oczyszczalniach ścieków. W ramach badań pobierałam średniodobowe próbki ścieków dopływających oraz oczyszczonych, próbkę średnią osadów nadmiernych oraz odcieki po procesach przeróbki osadów. Uzyskane wyniki wskazały, że w przypadku ibuprofenu, naproksenu oraz paracetamolu następował znaczny wzrost stężenia w ściekach dopływających do oczyszczalni w okresie jesiennym. Wyżej wymienione leki mają działanie przeciwbólowe i przeciwgorączkowe (ibuprofen, naproksen dodatkowo przeciwzapalne). Wyższe ich stężenie związane jest z okresem zachorowań na grypę i przeziębien oraz większym ich przyjmowaniem przez ludzi. Efektywność usuwania ibuprofenu ze ścieków była bardzo wysoka i wynosiła w większości próbek ponad 95%. Efektywność usuwania paracetamolu była jeszcze wyższa i wynosiła od 99% do 100%. Farmaceutyk ten występował w większości próbek płynnej frakcji osadów nadmiernych, lecz jego stężenie było stosunkowo niewielkie (0,026 - 2,867 µg/l).

W porównaniu do pozostałych analizowanych farmaceutyków najniższą efektywność usuwania stwierdzono w przypadku diklofenaku. W wielu próbkach jego stężenie w ściekach oczyszczonych było wyższe niż w ściekach dopływających. Efektywność usuwania metabolitów: 4OH diklofenaku i 5OH diklofenaku charakteryzowała się dużą zmiennością. W części próbek metabolity usuwane były całkowicie. Natomiast stwierdzono również wzrost ich stężenie w ściekach oczyszczonych. Diklofenak oraz jego metabolity występowały w większości próbek płynnej frakcji osadów ściekowych.

Ze względu na to, że projekt zakończył się w październiku 2018 roku, opublikowana została tylko część badań (Zał. 4 II A 1). Obecnie przygotowywane są kolejne dwie publikacje, które w najbliższym czasie zostaną opublikowane.

### **Dalsze działania naukowe**

Pod koniec 2018 r. i na początku 2019 r. rozpoczęłam realizację kolejnych 3 międzynarodowych projektów (Zał. 4 II J 2, 3, 4).

W ramach tych projektów będą podejmowane następujące działania naukowe:

1. Współdziałanie w tworzeniu platformy internetowej jako miejsca kontaktu naukowców, projektantów, wykonawców oraz władz lokalnych i krajowych związanych z szeroko

rozumiana inżynierią środowiska. Działania te mają pomagać w podejmowaniu i realizacji decyzji, który ma na celu poprawę jakości wód Morza Bałtyckiego

2. Badania wpływu przelewów nadmiarowych z kanalizacji ogólnospławnej do morza na obszarach zurbanizowanych. Tworzenie modelu matematycznego tych przelewów oraz działania zapobiegające im.
3. Badania zastosowania złóż trzcinowych w celu zagospodarowania glonów wyrzucanych na brzeg morza i uzyskania z odpadu nawozu, który może zostać przyrodniczo wykorzystany. Przewiduje się wykonanie analiza wpływu tych działań na jakość wód Bałtyku.

## **6. Informacja o działalności dydaktycznej, organizacyjnej, współpracy naukowej i popularyzacji nauki**

Zajęcia dydaktyczne na Wydziale Inżynierii Środowiska i Budownictwa Wodnego (Obecnie Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska) prowadziłam od 2002 roku będąc słuchaczem studium doktoranckiego „Geotechnika i Inżynieria Środowiska”. W tym czasie prowadziłam zajęcia zarówno dla studiów dziennych, jak i wieczorowych, m.in. projekt z wodociągów, kanalizacji, ogrzewnictwa, melioracji oraz ćwiczenia z urządzeń mechanicznych oraz instalacji i sieci sanitarnych dla studentów Wydziału Architektury Politechniki Gdańskiej. Następnie od 2008-2010 prowadziłam zajęcia na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego I i II stopnia. Prowadziłam projekt z wodociągów, laboratorium z chemii budowlanej oraz wykład z chemii. Od 2009 do 2012 prowadziłam zajęcia w Katedrze Inżynierii Sanitarnej, takie jak: projekt z ogrzewnictwa, projekt z wodociągów, projekt z technik sanitarnych, projekt i ćwiczenia z wentylacji. W 2012 roku zmieniłam katedrę. W Katedrze Technologii Wody i Ścieków prowadzę następujące zajęcia: laboratorium z chemii, laboratorium z chemii budowlanej, laboratorium z technologii wody i ścieków, ćwiczenia z ochrony powietrza, ćwiczenia z ochrony akwenów, projekt z naturalnych metod oczyszczania ścieków.

Razem z grupą prowadzących w roku 2018 opracowaliśmy nowy program dla przedmiotu Technologia Wody i Ścieków.

Od 2018 roku jestem koordynatorem programu POWER 3.5. w katedrze. Program ten ma za zadanie lepsze dostosowanie programów studiów II stopnia do potrzeb rynku pracy.

Od roku 2009 byłam promotorem 61 i recenzentem 44 prac dyplomowych magisterskich oraz promotorem 56 i recenzentem 47 prac dyplomowych inżynierskich. Byłam również promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr inż. Marzeny Stosik pt. "Zmienność charakterystycznych zanieczyszczeń w procesie oczyszczania ścieków opadowych w systemie hydrofitowym". Obrona odbyła się w dniu 02 lipca 2018 i doktorantka uzyskała stopień dr inż.

W latach 2017 i 2018 brałam udział w sesji oraz oceniałam prezentacje oraz postery na Interdyscyplinarnej Akademickiej Konferencji Ochrony Środowiska IAKOŚ. Jest to konferencja organizowana przez studentów i doktorantów działających w kołach naukowych Politechniki Gdańskiej. W wyżej wymienionych konferencjach byłam członkiem komitetu naukowego.

Biorę aktywny udział w pracach organizacyjnych Katedry Technologii Wody i Ścieków. Od roku 2014 do chwili obecnej jestem członkiem Wydziałowej Komisji Jakości Kształcenia. W 2016 byłam członkiem Komisji do Weryfikacji Efektów Kształcenia na kierunku inżynieria środowiska. Moim zadaniem było zebranie danych oraz sprawdzenie, w jaki sposób pracownicy Katedry Technologii Wody i Ścieków realizują efekty kształcenia wskazane w programach zajęć. Dodatkowo od 2017 roku byłam zastępcą członka Komisji Programowej, natomiast z początkiem 2019 roku zostałam pełnym członkiem wspomnianej komisji.

W 2016 roku byłam sekretarzem XV Międzynarodowej Konferencji "Wetland Systems for Water Pollution Control" organizowanej pod egidą IWA (International Water Association). W konferencji brało udział przeszło 200 osób z wielu krajów. Za organizację wyżej wymienionej konferencji zostałam w 2017 uhonorowana Zespołową Nagrodą Rektora Politechniki Gdańskiej I stopnia za działalność organizacyjną.

Obecnie jestem sekretarzem Ogólnopolskiej Konferencji "Innowacje w Inżynierii Środowiska", która odbędzie się w dniach 24-15.06.2019 w Gdańsku.

W ramach realizowanych projektów współpracuję z wieloma uczelniami i instytucjami naukowymi (Zał. 4 III E 1, 2, 3, 4). Najważniejsze z nich to: HELCOM i Instytut SYKLI z Finlandii, Międzynarodowe Centrum Biogazu i Bioenergii (IBBK) (Niemcy), Uniwersytet w Aarhus (Dania). Współpracuję również z wieloma oczyszczalniami ścieków, m.in. z oczyszczalnią w Gniewinie, Swarzewie czy Gdańsku (oczyszczalnia "Wschód"). Doświadczenie zdobyte podczas działań naukowych zostało wykorzystane do wykonania 3 ekspertyz, które dotyczyły możliwości wykorzystanie metody trzcinowej do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych na oczyszczalniach w Kamieniu Pomorskim, Bytowie czy Warcie. Współpraca z oczyszczalnią w Gniewinie zaowocowała wdrożeniem aplikacyjnych, które doprowadziło do modernizacji istniejących złóż trzcinowych. Obecnie zmodernizowane zostały 3 złoża z 6 istniejących. W kolejnych latach planowana jest modernizacja pozostałych złóż oraz dobudowanie 2 nowych.

Na prośbę redakcji czasopism o zasięgu krajowym i międzynarodowym wykonałam 14 recenzji artykułów w tym w Bioresource Technology, Environmental Science and Pollution Research, Ecological Engineering, Journal of Water and Land Development, Polish Journal of Environmental Studies.

Do działań popularyzatorskich nauki zaliczyć można cykl publikacji, które ukazały się w czasopiśmie "Rynek Instalacyjny". W cyklu tym przedstawiono zalety i wady systemów trzcinowych, zasady ich projektowania i eksploatacja, jak również wyniki badań dotyczące jakości ustabilizowanych osadów oraz możliwości ich wykorzystania.

Na konferencji WODA ŚCIEKI OSADY, która odbyła się w Warszawie w dniach 12-13.12.2017 skierowanej do eksploatatorów oczyszczalni ścieków przedstawiłam referat "Polskie i europejskie doświadczenia z zastosowaniem metody trzcinowej do odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych".

## 7. Zestawienie dorobku

Lp.	Rodzaj osiągnięcia	Liczba	
		przed uzyskaniem stopnia doktora	po uzyskaniu stopnia doktora
<b>1</b>	<b>Publikacje, w tym:</b>	<b>7</b>	<b>35</b>
	w czasopismach z listy JCR	0	11
	monografie	0	2
	rozdziały w książce o zasięgu międzynarodowym	0	2
	rozdziały w książce o zasięgu krajowym	0	7
	artykuły w czasopismach recenzowanych	7	13
<b>2</b>	<b>Projekty, w tym</b>	<b>1</b>	<b>8</b>
	międzynarodowe	0	5
	Krajowe	1	3
<b>3</b>	<b>Udział w komitetach organizacyjnych/naukowych konferencji</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Konferencje</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
	Prezentacje	3	4
	Aktywny udział	0	3
<b>5</b>	<b>Twórcze prace zawodowe, w tym:</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
	Wdrożenia	0	1
	ekspertyzy i opinie	0	3
<b>6</b>	<b>Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>7</b>	<b>Promotor prac dyplomowych, w tym:</b>	<b>0</b>	<b>117</b>
	inżynierskich	0	56
	magisterskich	0	61
<b>8</b>	<b>Recenzent prac dyplomowych, w tym:</b>	<b>0</b>	<b>91</b>
	inżynierskich	0	47
	magisterskich	0	44
<b>9</b>	<b>Cytowania (bez autocytowań)</b>	<b>0</b>	<b>53 (41)</b>
<b>10</b>	<b>Indeks Hirscha</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
<b>11</b>	<b>Impact Factor</b>	<b>0</b>	<b>18,978<sup>35</sup></b>
<b>12</b>	<b>Punkty wg MNiSW</b>	<b>35,0</b>	<b>400,0<sup>36</sup></b>
	z uwzględnieniem udziału własnego	26,6	203,35

<sup>35</sup> W artykułach z roku 2018 i 2019 przyjęto IF z roku 2017

<sup>36</sup> Zgodnie z rokiem wydania