

Izabela KRUSZELNICKA, Michał MICHAŁKIEWICZ,  
Dobrochna GINTER – KRAMARCZYK

Institut Inżynierii Środowiska  
Politechnika Poznańska

## IŁOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA OCENA MIKROORGANIZMÓW BYTUJĄCYCH NA KOMPOZYTACH POLIMEROWO - DRZEWNYCH TESTOWANYCH W OSADZIE CZYNNYM

THE QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ASSESSMENT OF  
MICROORGANISMS THAT RESIDE ON THE WOOD-POLYMER  
COMPOSITES - TESTED IN THE ACTIVATED SLUDGE

*The article deals with the use of polymeric materials in the technology of suspended moving bed bioreactors (MBBR), which are being currently used as one of the effective methods of wastewater treatment. A quantitative and qualitative analysis of newly formed biofilms was performed. The study showed a direct effect of the filler and its particle size on the susceptibility to the formation of composites on the surface of the biofilm.*

### 1. Wprowadzenie

Nowoczesną technologią oczyszczania ścieków, która od kilkunastu lat uzyskuje coraz większe uznanie w świecie jest metoda zawieszono-żłazna ruchomego (MBBR ang. *Moving Bed Biofilm Reaktor*) [1-6]. Technologia ta wykorzystuje zarówno zalety oczyszczania metodą osadu czynnego, jak i żłazna biologicznego. Znalazła zastosowanie w przepływowych oczyszczalniach ścieków – bytowo-gospodarczych i przemysłowych. Obecnie nośniki błony biologicznej wykonane są z tworzyw sztucznych m. in. polietylenu i polipropylenu. Preferuje się materiały o gęstości z przedziału 0,91-1,05 kg/dm<sup>3</sup> tak, by po pokryciu ich błoną biologiczną o gęstości około 1,05 kg/dm<sup>3</sup> uzyskać ciężar właściwy zbliżony do gęstości ścieków. Kształt nośników powinien zapewnić jak największą dostępną powierzchnię do rozwoju mikroorganizmów. Powierzchnia właściwa stosowanych kształtek waha się w szerokim przedziale 100÷1400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> objętości nasypowej żłazna [7]. Technologia żłazna ruchomego jest przykładem wykorzystania naturalnej immobilizacji biomasy, polegającej na wytworzeniu się przytwierdzonej do powierzchni ruchomego wypełnienia błony biologicznej, w celu zwiększenia efektywności oczyszczania ścieków. Kolonizacja różnych powierzchni przez mikroorganizmy

możliwa jest dzięki ich adhezyjnym właściwościom, a strukturę powstałego biofilmu stabilizują substancje polimeryczne wydzielane pozakomórkowo, tzw. EPS (*extra cellular polymeric substances*). Biofilm tworzą złożone, wielokomórkowe struktury, w których liczne komórki drobnoustrojów otoczone są warstwą śluzu [1-7]. Komórki mikroorganizmów wchodzących w skład biofilmu specjalizują się w pełnieniu różnych funkcji w procesach enzymatycznych i wykazują odmienne cechy niż komórki żyjące w postaci wolnej. Konstrukcja tych skupisk chroni mikroorganizmy przed niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych oraz stwarza możliwość łatwiejszego dostępu do substancji odżywczych. Dlatego też biofilm może funkcjonować w warunkach, w których przetrwanie pojedynczych komórek byłoby trudne, a w wielu przypadkach nawet niemożliwe [8, 9]. Błona biologiczna rzadko rozwija się na całej powierzchni nośników [10]. W zależności od producenta kształtek przyjmuje się, że biofilm znajduje się głównie na ich wewnętrznych częściach, nienarażonych na ścieranie wynikające z ciągłego uderzania o siebie poszczególnych elementów złoza lub, że aktywny wzrost biofilmu występuje na zewnętrznej powierzchni kształtki, gdzie następuje jego ciągłe ścieranie. Objętość nasypowa kształtek dochodzi do 70% całkowitej objętości bioreaktora [11].

Istnieje wiele definicji opisujących kompozyty polimerowo-drzewne. Jednak za najbardziej precyzyjną uważa się tę przedstawiającą WPC jako kompozyty dające się przetwarzać termoplastycznie, w skład których wchodzi drewno, tworzywo polimerowe i środki pomocnicze [12-14].

Obecnie prowadzone są badania nad wykorzystaniem kompozytów polimerowo drzewnych (*z ang. wood – polymer composites*; WPC) w technologii złóż ruchomych przede wszystkim ze względu na dużą powierzchnię czynną (powyżej 1200m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) dla błony biologicznej.

Zastosowanie rozwiązania w postaci kształtek z kompozytu polimerowego pozwoli na zagęszczenie populacji mikroorganizmów w reaktorze. Dzięki dobrze rozwiniętej powierzchni czynnej nośnika kompozytowego nie będzie problemów z pęcznieniem osadu oraz zmniejszy się wrażliwość bytującej populacji na niekorzystne warunki środowiskowe. Elementy złóż ruchomych wykonane z WPC mogą stanowić ciekawą propozycję dla oczyszczalni znajdujących się na terenach trudno dostępnych, w których zastosowana technologia powinna charakteryzować się elastycznością, czyli możliwością dostosowywania się układu technologicznego do zmieniającego się natężenia dopływających ścieków [10, 11].

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Polimer zastosowany jako osnowa WPC

Jako osnowę kompozytów polimerowo-drzewnych zastosowano polipropylen (PP Moplen HP648T) firmy Basell Orlen Polyolefines. Moplen HP648T jest homopolimerem przeznaczonym do wtrysku i zawiera środek nukleujący oraz antystatyczny. Odznacza się bardzo dobrą płynnością i dobrą sztywnością. Stosowany jest głównie do produkcji cienkościennych wyrobów wtryskowych, przede wszystkim dla przemysłu mleczarskiego i spożywczego. Podstawowe właściwości PP przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Rodzaj i charakterystyka polipropylenu zastosowanego jako osnowa WPC

Tab. 1. The type and characteristics of the polypropylene used as a composite matrix

Polimer / Typ	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Moduł sztywności przy rozciąganiu [MPa]	Granica plastyczności przy rozciąganiu [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Wydłużenie na granicy plastyczności [%]
Polipropylen (PP)	0,9	1600	35	50	8

## 2.2. Napełniacz drzewny

Drugim składnikiem kompozytów (napełniaczem) jest mączka drzewna. Mączkę drzewną otrzymuje się głównie z odpadów powstających w procesach obróbki drewna. Odpady poddaje się rozdrabnianiu oraz klasyfikacji według wymiarów i składu. Skład mączki drzewnej często zależy od gatunku używanego drewna, jej czystość zaś — od regionu, z którego pochodzi drewno oraz procesu, w trakcie którego powstają odpady. W badaniach wykorzystano dwa rodzaje mączki drzewnej firmy J. Rettenmaier & Söhne GmbH CoKG Niemcy, pochodzącej z drzew iglastych: Lignocel typ C 120 oraz L9. Oba rodzaje mączek zawierały cząstki o wymiarach odpowiednio 70µm – 150µm i 0,8 – 1,1mm. Homogenizację polipropylenu z mączkami drzewnymi przeprowadzono w procesie wytłaczania jednoślismakowego; uzyskano granulaty kompozytowe o zawartości napełniacza 30 i 40 % wagowej.

## 2.3. Wytwarzanie próbek do badań

Próbki do badań wytrzymałościowych wytwarzano metodą wtryskiwania przy użyciu wtryskarki WH 80 AP produkcji Metalchem Poznań. Wartość temperatury stref grzejnych cylindra, poczynając od zasobnika tworzywa, wynosiła odpowiednio 150, 180 i 185 ± 5°C; prędkość obrotowa ślimaka 100min<sup>-1</sup>; czas wtrysku 3s; czas docisku 7s i czas chłodzenia 30s. Temperatura dwugniazdowej formy wynosiła 20°C. Wytworzono wiosełka typu 1A, zgodnie z normą EN ISO 527-2. Wytworzone kompozyty umieszczono w komorze napowietrzania bioreaktora (nityfikacji), o znanych parametrach technicznych w Centralnej Oczyszczalni Ścieków dla miasta Poznania w Koziegłowach. Średnio co dwa miesiące pobierano próbki (wiosełka) do badań mikrobiologicznych i wytrzymałościowych.

## 2.4. Metodyka badań mikrobiologicznych

Przeprowadzone badania mikrobiologiczne miały na celu określenie ilościowej i jakościowej oceny mikroorganizmów zasiedlających i bytujących na różnych kompozytach. Badania wykonano przy użyciu mikroskopu optycznego Carl Zeiss Jena z okularzem 12,5x, obiektywem 5x i 10x i powiększeniem tubusa 1,5x. Obserwacje mikroskopowe prowadzono przy powiększeniach 93,75x i (lub) 187,5x. W pierwszym etapie

próbki (wiosełka) pobierano do sterylnych butelek. Jedną z kształtek płukano w 100 ml jałowej wody, natomiast z drugiej próbki zeskrobaną osad do jałowych szklanych pojemników (naczynka wagowe). Taki sposób poboru umożliwiał uzyskanie wszystkich rodzajów drobnoustrojów występujących na kształtkach (wiosełkach), zarówno form osiadłych, pełzających i swobodnie pływających, a także bakterii związanych z wytworzonym biofilmem. Ilość wypłukanego i zeskrobanego materiału oceniano ilościowo, co dawało podstawę do stwierdzenia, który z materiałów wykazywał większą tendencję do kolonizacji błony biologicznej i mikroorganizmów występujących w komorze osadu czynnego, w której były zawieszane wiosełka. Z wypłukanego oraz zeskrobanego osadu wykonano preparaty mikroskopowe i analizowano pod mikroskopem rodzaj oraz ilość znajdujących się w danym preparacie mikroorganizmów. Liczebność mikroorganizmów określano metodą szacunkową w skali 5-cio stopniowej: bardzo liczne, liczne, dość liczne, niezbyt liczne i pojedyncze [15].

### 3. Omówienie wyników

Podczas analizy mikroskopowej osadu zeskrobanego i wypłukanego stwierdzono następujące mikroorganizmy:

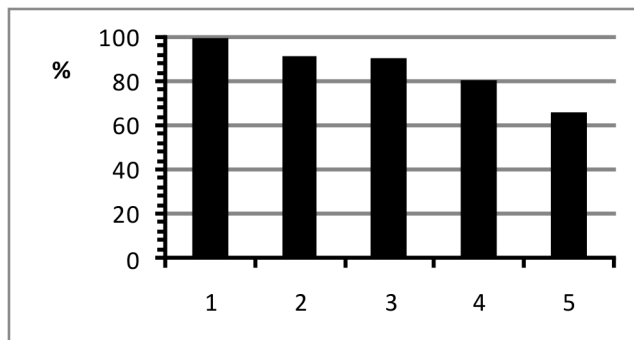
- Korzenionózki (*Rhizopoda*): *Arcella vulgaris*, *Amoeba sp.*,
- Wiciowce (*Flagellata*): *Peranema trichophorum*, *Bodo sp.*,
- Orzęski (*Ciliata*): *Paramecium caudatum*, *Paramecium bursaria*, *Aspidisca costata*, *Trichodina pediculus*, *Spirostomum sp.*, *Litonotus sp.*, *Trachelophyllum pusillum*, *Glaucoma sp.*, *Tetrahymena sp.*, *Strombidium viridae*, *Trichodina pediculus*, *Metopus sp.*, *Colpoda steini*, *Colpidium colpoda*, *Chilodonella sp.*, *Stentor sp.*, *Discophrya elongata*, *Tokophrya sp.*, *Acineta sp.*, *Podophrya fixa*, *Epistylis lacustris*, *Epistylis plicatilis*, *Epistylis rotans*, *Epistylis coronata*, *Epistylis chrysemydis*, *Opercularia carcata*, *Vorticella microstoma*, *Vorticella convallaria*, *Carchesium polypinum*,
- Wrotki (*Rotatoria*): *Rotaria rotatoria*, *Philodina sp.*, *Lecane sp.*,
- Skąposzczety (*Oligochaeta*): *Aelosoma sp.*,
- Brzuchorzęski (*Gastrotricha*): *Gastrotricha n.det.*,
- Niesporczaki (*Tardigrada*): *Tardigrada n.det.*,
- Nicienie (*Nematoda*): *Nematoda n.det.*,
- Bakterie nitkowate n.det.,
- Bakterie swobodnie pływające n.det.

Analizując ilość osadu tworzącego błonę biologiczną wiosełek w całym okresie badawczym (od listopada 2010 r. do października 2011 r.) można stwierdzić, że największe średnie powinowactwo do osadzania się i bytowania błony biologicznej posiadał kompozyt 60% PPH 648 T 40% L9, na drugim miejscu był 70% PPH 648 T 30% C 120, na trzecim 70% PPH 649 T 30% L9 i 60% PPH 648 T 40% C 120, a na ostatnim, PPH 648 T.

Nieznacznie inne wartości uzyskano analizując liczebność mikroorganizmów występujących na błonie biologicznej. Na rysunku 1 przedstawiono średni szacunkowy udział mikroorganizmów występujących na wiosełkach wykonanych z różnych kompozytów. Wartość średnią obliczono z prób zeskrobanych i wypłukanych.

Największą liczebność stwierdzonych organizmów przyjęto za 100%, natomiast pozostałe próbki zostały oszacowane w stosunku do próbki maksymalnej. Największą szacunkową liczebność mikroorganizmów stwierdzono na wiosełkach o składzie kompozytów 60%PPH 648T 40%L9 (próbka 1). Na kolejnych próbach (2 – 60%PPH 648T

40%C120, 3 – 70%PPH 648T 30%C120, 4 – 70%PPH 648T 30%L9) liczebność mikroorganizmów wynosiła odpowiednio: 2 – 91,8%, 3 – 90,3%, 4 – 81,0%, natomiast na próbce 5 (PPH 648T) stwierdzono najmniejsze zagęszczenie organizmów (66,6%).

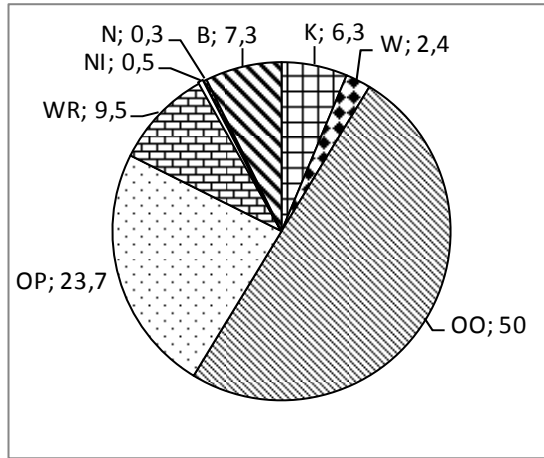


Rys. 1. Szacunkowy udział mikroorganizmów osadzonych na wiosełkach (1 – 60%PPH 648T 40%L9, 2 – 60%PPH 648T 40%C120, 3 – 70%PPH 648T 30%C120, 4 – 70%PPH 648T 30%L9, 5 – PPH 648T)

Fig. 1. The estimated share of microorganisms deposited on the composite (1 – 60%PPH 648T 40%L9, 2 – 60%PPH 648T 40%C120, 3 – 70%PPH 648T 30%C120, 4 – 70%PPH 648T 30%L9, 5 – PPH 648T)

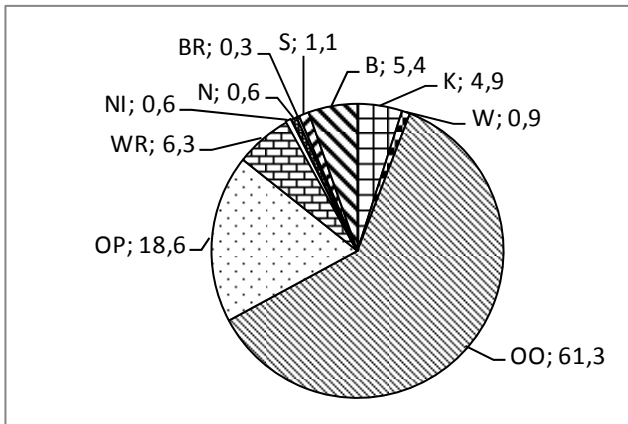
Na liczebność mikroorganizmów występujących na poszczególnych wiosełkach zdecydowany wpływ miały orzeszki osiadłe z rodzaju *Epistylis*, *Opercularia* i *Carchesium*, które spotykane były przez cały okres w dużych ilościach na zawieszonych wiosełkach, mimo, że w wielu przypadkach ich liczebność bezpośrednio w komorze osadu czynnego była zdecydowanie mniejsza. Wskazuje to na korzystne oddziaływanie podłoża stałego na penetrację i długotrwałe osadzanie się orzeszków osiadłych na zawieszonych kształtkach. Podobne zjawisko zaobserwowano w stosunku do wrotków *Rotaria rotatoria* oraz ameb *Arcella vulgaris*. Towarzyszącymi organizmami były najczęściej niesporczaki, brzuchorzęski, skąposzczety i nicienie. We wszystkich próbach stwierdzono w biofilmie również bakterie swobodnie pływające, które występowały zarówno w próbach wypływanych, jak i zeszkrobanych. Okresowo pojawiały się również bakterie nitkowate. Liczebność bakterii była jednak bardzo zmienna.

Na rysunkach 2-6 przedstawiono średni procentowy udział mikroorganizmów występujących na wiosełkach wykonanych z różnych kompozytów. Wśród orzeszków osiadłych były rodzaje *Epistylis*, *Opercularia*, *Carchesium*, *Vorticella*, *Discophrya*, *Tokophrya*, *Acineta* i *Podophrya*, natomiast orzeszki pływające i pływające były reprezentowane przez pozostałe wykryte rodzaje. Bakterie uwzględnione na rysunkach obejmowały zarówno formy swobodnie pływające, jak i nitkowate.



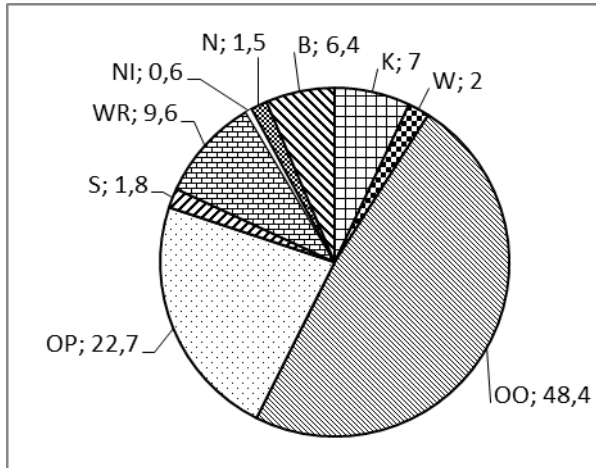
Rys. 2. *Udział mikroorganizmów wykrytych na wiosetku z kompozytu 60%PPH 648T 40%L9 (K – korzenionózki, W – wiciowce, OO – orzęski osiadłe, OP – orzęski pełzające i pływające, WR – wrotki, NI – nicienie, N – niesporczaki, B – bakterie)*

Fig. 2. *The participation of microorganisms detected on the composite 60% PPH 648T 40% L9 (K - Rhizopoda, W - Flagellata, OO - sessile Ciliates, OP - crawling and free swimming Ciliates, WR - Rotatoria, NI - Nematodes, N - Tardigrada, B - Bacteria)*



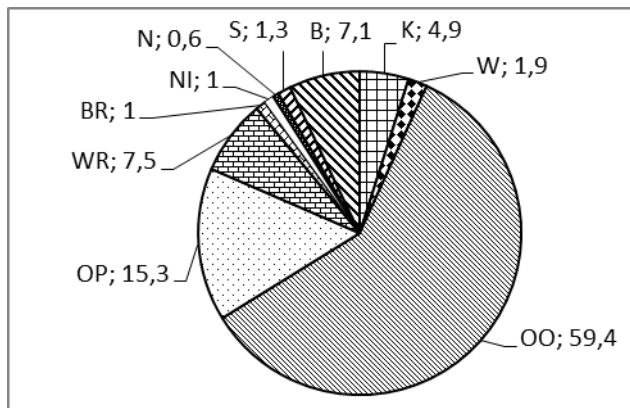
Rys. 3. *Udział mikroorganizmów wykrytych na wiosetku z kompozytu 60%PPH 648T 40%C120 (K – korzenionózki, W – wiciowce, OO – orzęski osiadłe, OP – orzęski pełzające i pływające, WR – wrotki, NI – nicienie, N – niesporczaki, BR – brzucho-rzęski, S – skąposzczety, B – bakterie)*

Fig. 3. *The participation of microorganisms detected on the composite 60%PPH 648T 40%C120 (K - Rhizopoda, W - Flagellata, OO - sessile Ciliates, OP - crawling and free swimming Ciliates, WR - Rotatoria, NI - Nematodes, N - Tardigrada, BR - Gastrotricha, S - Oligochaeta, B - Bacteria)*



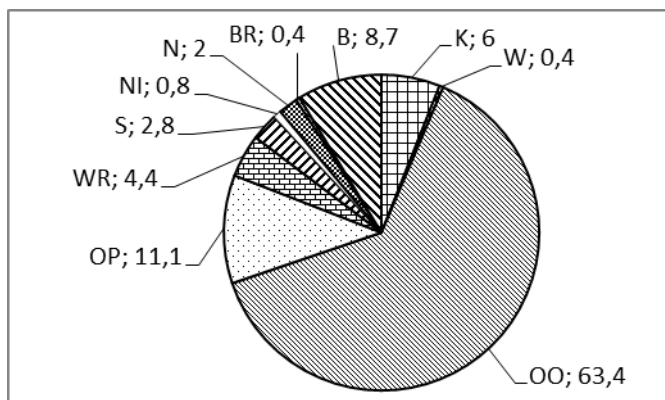
Rys. 4. Udział mikroorganizmów wykrytych na wioselku z kompozytu 70%PPH 648T 30%C120 (K – korzenionózki, W – wiciowce, OO – orzęski osiadłe, OP – orzęski pełzające i pływające, S – skąposzczety, WR – wrotki, NI – nicienie, N – niesporczaki, B – bakterie)

Fig. 4. The participation of microorganisms detected on the composite 70%PPH 648T 30%C120 (K - Rhizopoda, W - Flagellata, OO - sessile Ciliates, OP - crawling and free swimming Ciliates, S - Oligochaeta, WR - Rotatoria, NI - Nematodes, N - Tardigrada, B - Bacteria)



Rys. 5. Udział mikroorganizmów wykrytych na wioselku z kompozytu 70%PPH 648T 30%L9 (K – korzenionózki, W – wiciowce, OO – orzęski osiadłe, OP – orzęski pełzające i pływające, WR – wrotki, BR – brzuchorzęski, NI – nicienie, N – niesporczaki, S – skąposzczety, B – bakterie)

Fig. 5. The participation of microorganisms detected on the composite 70%PPH 648T 30%L9 (K - Rhizopoda, W - Flagellata, OO - sessile Ciliates, OP - crawling and free swimming Ciliates, WR - Rotatoria, BR - Gastrotricha, NI - Nematodes, N - Tardigrada, S - Oligochaeta, B - Bacteria)



Rys. 6. Udział mikroorganizmów wykrytych na wiosełku z kompozytu PPH 648T (K – korzenionózki, W – wiciowce, OO – orzęski osiadłe, OP – orzęski pełzające i pływające, WR – wrotki, S – skąposzczety, NI – nicienie, N – niesporczaki, BR – brzuchozęski, B – bakterie)

Fig. 6. The participation of microorganisms detected on the composite 70%PPH 648T 30%L9 (K - Rhizopoda, W - Flagellata, OO - sessile Ciliates, OP - crawling and free swimming Ciliates, WR - Rotatoria, S – Oligochaeta, NI - Nematodes, N - Tardigrada, BR - Gastrotricha, B - Bacteria)

Wszystkie mikroorganizmy zasiedlające powyższe kompozyty spotykane były także w okresowych badaniach osadu czynnego występującego w komorze nityfikacji, w której zawieszono badane wiosełka. W badaniach osadu czynnego zauważono również wyraźne wahania liczebności bakterii swobodnie pływających oraz nitkowatych, a także pozostałych mikroorganizmów.

Porównując powyższe wyniki z wartościami sprężystości daje się zauważyć podobieństwo w kolejności występowania błony biologicznej i osadzania mikroorganizmów z wytrzymałością kompozytów WPC. Zgodnie z tą obserwacją materiałem o najlepszych parametrach wytrzymałościowych w przypadku zastosowania jako dodatku mączki drzewnej typu C120 jest kompozyt o składzie 70%PPH 648T / 30% C120. Natomiast w przypadku napelnacza Lignocel – typ L9 była to próbka o składzie 60%PPH 648T / 40% L9.



## Bibliografia

- [1] Sionkowski T. Comparison MBBR technology with activated sludge technology *Forum Eksploatatora*, 2010, Nr 3 (48), 84-85
- [2] McQuarrie, J.P., Boltz, J.P. Moving bed biofilm reactor technology: process applications, design, and performance. *Water Environ. Res.*, 2011, 83, 560-575
- [3] Ødegaard. H.; Rusten, R.; Flemming Wessman, F. State of the Art in Europe of the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Process. In *Proceedings of the 77th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference*, New Orleans, Louisiana, Oct. 2–6 [CD-ROM]; Water Environment Federation: Alexandria, Virginia 2004
- [4] [www.ncsafewater.org/.../AC07Ind\\_Mon0145\\_Bri](http://www.ncsafewater.org/.../AC07Ind_Mon0145_Bri)
- [5] Parker D. S. Introduction of New Process Technology into the Wastewater Treatment Sector, *Water Environ. Res.*, 2011, 83, 6, 483-497
- [6] Yang, S., Yang, F.L., Fu, Z.M., Lei, R.B. Comparison between a moving bed membrane bioreactor and a conventional membrane bioreactor on organic carbon and nitrogen removal. *Bioresour. Technol.*, 2009, 100, 2369-2374
- [7] Grajlich A., Ocena wpływu sposobów wymiarowania hybrydowych systemów złoża ruchomego i osadu czynnego IFAS na projektowaną wielkość bioreaktora. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2011, 4, 141-144
- [8] Żubrowska-Sudoł M., Jasińska A. Podział reaktorów ze złożem ruchomym. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2007, 3, 29-31
- [9] Borowski J., Ogólne uwarunkowania efektywności mieszania i natleniania w małych reaktorach ze złożem ruchomym. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2007, 11, 24-27
- [10] K. Miksch, J. Sikora. *Biotechnologia ścieków*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2010
- [11] <http://www.inwatec.pl/upload/File/ZLOZE%20RUCHOME%20MBBR.pdf>
- [12] Wechsler A., Hiziroglu S.: Some of the properties of wood-plastic composites, *Building and Environment* 2007, 42, 2637.
- [13] Gozdecki C., Wilczyński A., Kociszewski M., Tomaszewska J., Zajchowski S. Effect of industrial wood particle size on mechanical properties of wood-polyvinyl chloride composites. *Wood and Fiber Science* 2012, 44, 14.
- [14] Zajchowski S., Ryszkowska J. Kompozyty polimerowo-drzewne – charakterystyka ogólna oraz ich otrzymywanie z materiałów odpadowych. *Polimery*, 2009, 54, 674.
- [15] Michałkiewicz M., Fiszer M. *Biologia sanitarna. Ćwiczenia laboratoryjne*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011

