

## KSZTAŁTOWANIE SIĘ BIOCENOZY OSADU CZYNNEGO W PROCESIE BIODEGRADACJI WYBRANYCH DETERGENTÓW NIEJONOWYCH

Badania prowadzono w skali laboratoryjnej na trzech detergentach niejonowych tj.: Rokafenol N-8 i NX-8 (etoksyłowane alkilofenole) oraz Rokanol L-10 (etoksyłowany alkohol lauryłowy), przy różnych obciążeniach hydraulicznych komory ( $t=8, 4$  i  $2$  h).

Osad czynny zasilano preparowanymi ściekami bytowo-gospodarczymi z dodatkiem różnych stężeń badanych związków.

Usuwanie detergentów wynosiło maksymalnie 89%<sup>0</sup>. Stwierdzono wyraźne zmiany jakościowe i ilościowe w składzie organizmów osadu czynnego.

W miarę wzrostu stężenia detergentów czy też jego czasu zatrzymania w komorze, obserwowano stopniowe zanikanie wielu gatunków.

### Charakterystyka problemu i cel pracy

Detergenty stosowane powszechnie w ostatnich latach do celów przemysłowych i gospodarczych są uciążliwymi składnikami ścieków z uwagi na ujemny wpływ, zarówno na procesy oczyszczania ścieków metodami biologicznymi, jak i na samooczyszczanie wód powierzchniowych. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się szybki wzrost zapotrzebowania na niejonowe detergenty z uwagi na ich właściwości bardziej korzystne dla różnych gałęzi przemysłu w porównaniu z detergentami anionowymi.

Dotychczasowe badania pozwalają na stwierdzenie, że detergenty niejonowe ulegają trudniej biodegradacji niż związki anionowo-czynne [1,2,3]. Proces biodegradacji niejonowych detergentów jest uzależniony od ich budowy chemicznej a szczególnie od liczby grup oksyetylenowych w cząsteczce [4,5]. Degradacja tych związków polega na utlenieniu łańcucha alkilowego i hydrolytycznym rozrywaniu łańcucha oksyetylenowego. Rozrywanie łańcucha oksyetylenowego zachodzi według mechanizmu hydrolyzy i tylko w przypadku gdy ilość moli tlenu etylenu nie przekracza dziesięciu, szybkość reakcji jest wystarczająco duża. Rozkład grupy alkilowej następuje poprzez karboksylację [3,4,5]. Szybkość degradacji detergentów niejonowych maleje ze wzrostem długości i stopnia rozgałęzienia łańcucha węglowodorowego [2].

Jedną z metod określenia możliwości i stopnia biodegradacji tych związków jest test z osadem

czynnym. Rozkład detergentów niejonowych przez osad czynny jest uzależniony od stosowanych parametrów technicznych a szczególnie od obciążenia osadu, który jest parametrem limitującym możliwości prowadzenia procesu [6]. Związki te są toksyczne dla flory i fauny wodnej i zależnie od gatunku organizmu w różnym stopniu wpływają na ograniczenie ich rozwoju lub nawet na całkowite ich wyniszczenie. Wraz ze wzrostem stężenia detergentów niejonowych w środowisku, działalność organizmów osadu czynnego jest stopniowo hamowana aż wreszcie całkowicie ustaje. Należy zaznaczyć, że stwierdza się duże różnice w stopniach toksyczności dla poszczególnych detergentów niejonowych [7].

Celem niniejszej pracy było określenie możliwości usuwania ze ścieków trzech niejonowych detergentów, przy pomocy osadu czynnego oraz prześledzenie ich wpływu na biocenozę osadu.

### Zakres badań i metodyka

Przebadano następujące detergenty niejonowe:

- etoksyłan alkilofenolu, zawierający 9,5 moli tlenu etylenu, o nazwie Rokafenol N-8
- etoksyłan alkilofenolu, zawierający 8 moli tlenu etylenu o nazwie Rokafenol NX-8
- etoksyłan I rzędowego alkoholu lauryłowego, zawierający 10 moli tlenu etylenu, o nazwie Rokanol L-10.

Testy prowadzono z każdym detergentem oddzielnie (nie w mieszaninie) w laboratoryjnych modelach osadu czynnego o pracy ciągłej, wykonanych zgodnie z Polską Normą [8]. W skład każdego modelu wchodził: zbiornik zasilający, pompa dozująca, komora napowietrzania pojemności użytkowej 3,4 dm<sup>3</sup>, płytka ze szkła spiekanego, element przelewowy, osadnik, pompa strumieniowa, zbiornik dla odpływu oraz rotametr. Parametrem zmiennym było stężenie detergentu oraz czas zatrzymania ścieków w komorze wynoszący: 8; 4 i 2 godz. Tym samym zmieniano się obciążenie osadu ładunkiem detergentu. Osad czynny do badań pobierano z oczyszczalni ścieków miejskich. Do komory doprowadzano ścieki syntetyczne z dodatkiem poszczególnych detergentów. Ścieki przygotowywano z wody wodociągowej i substancji pożywkowych o następującym składzie: 0,6 g/dm<sup>3</sup> bulion mięsny z peptonem, 0,12 g/dm<sup>3</sup> NH<sub>4</sub>Cl, 0,10 g/dm<sup>3</sup> MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,

0,14 g/dm<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> i 0,03 g/dm<sup>3</sup> NaHCO<sub>3</sub>. Osad był adaptowany do ścieków syntetycznych przez okres około 2 tygodni w celu wyhodowania populacji organizmów najbardziej odpowiednich do oczyszczania tego rodzaju ścieków.

Badania testowe prowadzono w dziesięciu równoległych pracujących komorach z których jedna stanowiła kontrolę. Do dziewięciu pozostałych doprowadzano ścieki z dodatkiem detergentów w różnych stężeniach. Stężenia dodawanych detergentów ustalano drogą pomiarów respiracji osadu czynnego w sapromacie w 20°C. Ponieważ pomiary wykazały hamujący wpływ detergentów dopiero przy bardzo wysokich ich stężeniach, do badań przyjęto takie stężenia, które mogą występować w ściekach przemysłowych. Przyjęto dla Rokafenoli N-8 i NX-8: 15, 30 i 45 mg/dm<sup>3</sup>, dla Rokanolu L-10: 50, 100 i 150 mg/dm<sup>3</sup>. Stężenie osadu w komorach wynosiło około 3 g/dm<sup>3</sup>, wiek osadu 5 dni, stężenie tlenu rozpuszczonego w komorze 4—5 mg/dm<sup>3</sup>.

Od chwili ustalenia się równowagi, przeprowadzono trzy 10 dniowe testy, zmieniając kolejno czas zatrzymania ścieków. Po każdej zmianie obciążenia prowadzono kilkudniową adaptację osadu do nowych warunków. Codziennie kontrolowano w dopływie i odpływie stężenie detergentu i chemiczne zapotrzebowanie tlenu oraz osadu wagowo i objętościowo. W odstępach kilkudniowych oznaczano dodatkowo w ściekach surowych i oczyszczonych azot amonowy, azotynowy i azotanowy. Rokafenole N-8 i NX-8 oznaczano metodą pomiaru absorpcji pierścienia benzenowego w ultrafiolecie przy długości fali 280 nm, po uprzedniej ekstrakcji próbek czterochlorkiem węgla [4]. Rokafenol L-10 oznaczono metodą kalorymetryczną z kwasem fosforowolframowym w modyfikacji hydrochinonowej [9].

Równoległe z badaniami technologicznymi osadu czynnego prowadzono obserwacje mikroskopowe, występujących organizmów oraz śledzono ich stopniowe zmiany. Badania biologiczne wykonywano co kilka dni, przy czym próbki osadu czynnego pobierano przy pomocy pipety z różnych miejsc a następnie zlewano razem, mieszano i traktowano jako jedną próbkę. Każdorazowo oglądano trzy preparaty, a wyniki uśredniano. Obserwacje zbiorów organizmów objęły badania jakościowe oraz ilościowe w stopniach szacowania. Stosowano następującą skalę ocen: + — sporadycznie, 1 — bardzo mało, 2 — mało, 3 — dużo, 4 — bardzo dużo, 5 — masowo [10]. Badania prowadzono na materiale żywym.

## Omówienie wniosków

Jak wynika z badań, wszystkie trzy detergenty niejonowe były w dużym stopniu usuwane przez osad czynny. Usuwanie było uzależnione od stężenia początkowego detergentów w ściekach oraz od obciążenia osadu i przebiegało podobnie dla obu Rokafenoli. Odmienny przebieg stwierdzono w przypadku Rokanolu L-10. Stopień usuwania Rokafenoli N-8 i NX-8 był ograniczony maksymalnie, odpowiednio do 85 i 89% i najwydajniej przebiegał przy niższych obciążeniach osadu ładunkiem detergentów (t=8 i 4 godz.).

Przy czasie zatrzymania ścieków równym 2 godz. efektywność procesu wyraźnie malała. Rokanol L-10 wymagał odmiennych parametrów procesu. Tylko przy zachowaniu wysokiego obciążenia osadu ładunkiem detergentu tzn. przy czasie zatrzymania równym 2 godz. uzyskano do 83% (Tab. 1).

Tabela 1  
ROZKŁAD DETERGENTÓW NIEJONOWYCH PRZEZ OSAD CZYNNY

| Badane detergenty | Stężenie detergentu w dopływie mg/dm <sup>3</sup> | Czas zatrzymania ścieków w komorze godz. | Usuwanie detergentu % (śr. wart.) | Współczynnik kinetyczny szybkości usuwania detergentu (śr. wart.) |       |
|-------------------|---|--|-----------------------------------|---|-------|
|                   |   |  |                                   | mg/dm <sup>3</sup> /h   |       |
| Rokafenol N-8     | 15  | 8  | 78,3                              | 0,143   | 64,5  |
|                   |   | 4  | 64,6                              | 0,147   | 85,7  |
|                   |   | 2  | 54,2                              | 0,184   | 107,3 |
|                   | 30  | 8  | 83,7                              | 0,202   | 61,6  |
|                   |   | 4  | 75,0                              | 0,235   | 107,9 |
|                   |   | 2  | 71,4                              | 0,394   | 120,0 |
| Rokafenol NX-8    | 45  | 8  | 88,9                              | 0,318   | 73,5  |
|                   |   | 4  | 80,6                              | 0,331   | 121,8 |
|                   |   | 2  | 57,7                              | 0,212   | 136,0 |
|                   | 15  | 8  | 79,1                              | 0,153   | 58,2  |
|                   |   | 4  | 76,0                              | 0,253   | 115,7 |
|                   |   | 2  | 70,8                              | 0,384   | 130,7 |
| Rokafenol L-10    | 30  | 8  | 87,1                              | 0,270   | 52,6  |
|                   |   | 4  | 78,3                              | 0,281   | 127,5 |
|                   |   | 2  | 72,7                              | 0,415   | 145,2 |
|                   | 45  | 8  | 89,5                              | 0,341   | 63,8  |
|                   |   | 4  | 80,5                              | 0,336   | 105,6 |
|                   |   | 2  | 54,7                              | 0,192   | 121,3 |
| Rokanol L-10      | 50  | 8  | 57,0                              | 0,053   | 75,0  |
|                   |   | 4  | 70,0                              | 0,189   | 103,0 |
|                   |   | 2  | 82,0                              | 0,735   | 230,8 |
|                   | 100   | 8  | 53,6                              | 0,046   | 103,6 |
|                   |   | 4  | 77,5                              | 0,279   | 108,1 |
|                   |   | 2  | 82,3                              | 0,750   | 262,1 |
| 150               | 8   | 55,8                                     | 0,022                             | 80,9  |       |
|                   | 4   | 64,7                                     | 0,145                             | 108,3   |       |
|                   | 2   | 75,4                                     | 0,481                             | 220,3   |       |

Badania biologiczne osadu czynnego użytego do doświadczeń wykazały obecność następujących grup organizmów: Bacteriaceae, Algae, Flagellata apachromatica, Rhizopoda, Ciliata, Nematodes, Rotatoria. W grupie bakterii, obok skupisk zoogloalnych, liczny był Sphaerotilus natans, glony reprezentowane były przede wszystkim przez pojedyncze okrzemki a Rhizopoda przez często występujący rodzaj Cochliopodium granulatatum. Flagellata pojawiały się w sposób ciągły, lecz w zmiennej ilości. Wśród Ciliata oznaczono w tym czasie kilkanaście gatunków, z których 5 w okresie adaptacji osadu utrzymywała się w dużych ilościach. Należały do nich: Chilodonella uncinata, Aspidisca costata, Vorticella microstoma, Opercularia coarctata i Tokophrya quadripartita. Rotatoria reprezentowane były najliczniej przez gatunek Habrotrocha bidens.

Dla stężeń obu Rokafenoli 15, 30 i 45 mg/dm<sup>3</sup> i czasu zatrzymania 8 godz., nie stwierdzono wyraźnych zmian w składzie organizmów, natomiast dla czasu zatrzymania 4 godz. dało się zauważyć zmniejszenie ilości Ciliata na korzyść Flagellata apochromatica. W grupie Ciliata stwierdzono ponadto zmianę w liczebności poszczególnych gatunków, gdzie na pierwszy plan wysunął się taki

gatunek jak *Paramecium caudatum*. W trzeciej komorze przy największym stężeniu wzrosła ilość bakterii nitkowatych (Tab. 2).

Przy obniżeniu czasu zatrzymania do 2 godz., obserwowano wyraźny spadek organizmów zarówno pod względem ilości gatunków jak też osobników. Grupa Ciliata ubożała coraz bardziej, a pod koniec doświadczenia w pierwszej i drugiej komorze w większej ilości występowały jedynie *Vorticella microstoma* i *Cyclidium* sp. a w komorze trzeciej, gdzie stężenie Rokafenolu N-8 wynosiło 45 mg/dm<sup>3</sup>, Ciliata reprezentowane były przez gatunek *Chilodonella uncinata* i rodzaj *Cyclidium*. W przypadku Rokafenolu NX-8 występował praktycznie tylko jeden przedstawiciel Ciliata tj. *Cyclidium* sp. Ponadto obecne były liczne Bacteriaceae, nieliczne Flagellata i sporadycznie Nematodes (Tab. 3). Komora kontrolna wykazywała w tym czasie zestaw organizmów charakterystycznych dla ustabilizowanego, dobrze pracującego osadu czynnego. Rokanol L-10 wymagał do biodegradacji odmiennych parametrów procesu. Tylko przy zachowaniu wysokiego obciążenia osadu tzn. przy t=2 godz. i stężeniu 50 i 10 mg/dm<sup>3</sup> usuwanie detergentu sięgało 83%. Przy stężeniu 150 mg/dm<sup>3</sup> następował już spadek usuwania do 75%. Przy niższych obciążeniach osadu (t=8 i 4 godz.) usuwanie Rokanolu L-10 przebiegało ze zmniejszoną wydajnością. Osad czynny użyty do tego doświadczenia

wykazywał taki sam zestaw grup organizmów jak opisano powyżej oraz dodatkowo zawierał pojedyncze okazy Archnoidea i Copepoda.

Po okresie adaptacji osadu kiedy nastąpiła jego stabilizacja obok licznych Bacteriaceae, reprezentowanych przede wszystkim przez gatunek *Sphaerotilus natans* oraz skupiska zoogeealne bakterii a głównie *Zooglea ramigera*, licznych Rhizopoda z przedstawicielem *Cochliopodium granulatum* i występujących w małej ilości Flagellata spochromatica, liczne były Ciliata wśród których przeważały następujące gatunki: *Litonotus fasciola*, *Aspidisca costata*, *Paramecium caudatum*, *Opercularia coarctata* i *Vorticella microstoma*. Przy stężeniu detergentu 50 i 100 mg/dm<sup>3</sup> i w czasie zatrzymania w komorach 8 i 4 godz. obraz organizmów osadu czynnego i niewiele się zmienił. Obserwowano tylko słabszy rozwój i stopniowy zanik orzęska *Urostyla weissei*. Przy czasie zatrzymania 2 godz. nadal liczna była *Aspidisca costata*, wzrosła ilość bakterii a zmalała ilość Flagellata apochromatica. W tym czasie zaczęły się rozwijać również Nematodes i Rotatoria. Był to okres kiedy zachodziło najwyższe usuwanie Rokanolu L-10. W komorze o stężeniu detergentu 150 mg/dm<sup>3</sup> obserwowano stosunkowo słabszy rozwój ilościowy poszczególnych taksonów. Przy czasie zatrzymania 2 godz. stwierdzono zanik gatunku *Opercularia coarctata* (Tab. 4).

Tabela 2  
WYKAZ ORGANIZMÓW OSADU CZYNNEGO WYSTĘPUJĄCYCH W CZASIE OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW ZAWIERAJĄCYCH RÓŻNE STĘŻENIA ROKAFENOLU N-8

| t zatrzymania ścieków                       | t=8h                             |    |    |    |                |    |    |    |                |    |    |    | t=4h                             |    |    |    |                |    |    |    |                |    |    |    | t=2h                             |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|----------------------------------|----|----|----|----------------|----|----|----|----------------|----|----|----|----------------------------------|----|----|----|----------------|----|----|----|----------------|----|----|----|----------------------------------|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|   | Rokafenol N-8 mg/dm <sup>3</sup> |    |    |    |                |    |    |    |                |    |    |    | Rokafenol N-8 mg/dm <sup>3</sup> |    |    |    |                |    |    |    |                |    |    |    | Rokafenol N-8 mg/dm <sup>3</sup> |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  | Rokafenol N-8 mg/dm <sup>3</sup> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Organizmy osadu czynnego                    | kon-<br>trolna                   | 15 | 30 | 45 | kon-<br>trolna | 15 | 30 | 45 | kon-<br>trolna | 15 | 30 | 45 | kon-<br>trolna                   | 15 | 30 | 45 | kon-<br>trolna | 15 | 30 | 45 | kon-<br>trolna | 15 | 30 | 45 | kon-<br>trolna                   | 15 | 30 | 45 |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Zooglea ramigera</i> Itzig               | 2                                | 1  | 3  | 3  | 2              | 2  | 1  | 1  | 3              | +  | 2  | +  | 5                                | 3  | 3  | 2  | 5              | 5  | 5  | 4  | 2              | 4  | 4  | 2  | 4                                | 4  | 2  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Sphaerotilus natans</i> Klütz.           | 1                                | 1  | 1  | 1  | +              | +  | 1  | +  | 1              | 1  | +  | 2  | 1                                | 1  | 3  | 5  | 2              | 3  | 5  | 5  | 2              | 2  | 5  | 5  | 2                                | 2  | 5  | 5  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Sphaerotilus dichotomus</i> (Cohn) M     | 1                                | 1  | 1  | 1  | +              | 1  | +  | 2  | +              | +  | +  | +  | 1                                | 3  | 3  | 3  | 1              | 3  | 4  | 4  | 2              | 5  | 4  | 4  | 2                                | 5  | 4  | 4  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Beggiatoa alba</i> (Vauch.)              | —                                | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | +              | —  | +  | —  | —                                | +  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Bacteriophyta</i> n. det. (palczki)      | +                                | 2  | 5  | 5  | +              | +  | +  | 4  | +              | —  | +  | 3  | +                                | +  | +  | 3  | 4              | 3  | 4  | 4  | 3              | 3  | 5  | 5  | 3                                | 3  | 5  | 5  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Pinnularia microstauron</i> Cl.          | +                                | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Nitzschia</i> sp.                        | 1                                | +  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Amoeba limax</i> Duj.                    | —                                | +  | —  | —  | —              | 2  | 1  | —  | —              | +  | —  | —  | —                                | 3  | 1  | 1  | +              | —  | +  | —  | —              | 2  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cochliopodium granulatum</i> Pen.        | 2                                | 2  | +  | 1  | 1              | —  | 1  | —  | 1              | +  | —  | —  | 1                                | +  | 3  | 1  | 1              | —  | —  | —  | 3              | 2  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Rhizopoda</i> n. det.                    | 1                                | 2  | —  | 2  | +              | 2  | +  | 2  | +              | +  | —  | +  | —                                | 1  | 3  | 3  | +              | 1  | 1  | 3  | 2              | 2  | —  | 1  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.            | —                                | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Flagellata apochromatica</i> n. det.     | 2                                | 3  | 3  | 3  | 2              | 2  | 2  | 3  | 2              | 3  | 3  | 4  | 3                                | 3  | 5  | 4  | 2              | 5  | 5  | 3  | 2              | 5  | 2  | 2  | 2                                | 5  | 2  | 2  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Litonotus</i> sp.                        | 2                                | 3  | 1  | —  | +              | —  | +  | —  | +              | —  | +  | —  | 3                                | —  | —  | 2  | 2              | —  | —  | —  | 2              | 1  | 1  | —  | 2                                | 1  | 1  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Chilodonella uncinata</i> Ius Ehr        | 4                                | 3  | 2  | 3  | 3              | 2  | 2  | 2  | 3              | 2  | 1  | 1  | 2                                | 2  | 1  | 2  | 3              | 2  | 1  | 1  | 2              | 2  | 1  | 2  | 2                                | 2  | 1  | 2  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Chilodonella cucullus</i> Diej.          | —                                | —  | 1  | —  | +              | —  | +  | —  | +              | —  | —  | —  | +                                | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Paramecium caudatum</i> Ehr Müll.        | 2                                | 2  | 3  | 1  | +              | —  | +  | —  | 1              | 3  | 3  | 3  | 1                                | 4  | 4  | 3  | 2              | 1  | —  | —  | 4              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cinetochillum margaritaceum</i> Pery     | 3                                | 3  | 1  | —  | +              | 2  | +  | —  | +              | +  | —  | —  | 3                                | 1  | —  | —  | 3              | —  | —  | —  | 4              | 1  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cyclidium</i> sp.                        | +                                | —  | —  | —  | +              | —  | +  | —  | +              | +  | —  | +  | 3                                | 3  | 3  | 5  | 3              | 2  | 5  | 4  | 2              | 5  | 4  | 4  | 2                                | 5  | 4  | 4  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Urostyla</i> sp.                         | 2                                | 1  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | +              | +  | —  | —  | +                                | 1  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | 1              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Aspidasca costata</i> (Duj.) Clap. La    | 4                                | 3  | 2  | 2  | 4              | 3  | 3  | 1  | 3              | 1  | 1  | 1  | 3                                | +  | +  | +  | 3              | —  | —  | —  | 3              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Aspidisca Lynceus</i> Ehr.               | 1                                | +  | —  | —  | 1              | +  | +  | —  | +              | —  | —  | —  | +                                | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Opercularia coarctata</i> (Clap. Lachm.) | 4                                | 3  | 3  | 1  | 4              | 2  | 2  | 2  | 3              | 2  | 1  | 1  | 3                                | 1  | 3  | 1  | 3              | 3  | +  | +  | 2              | 1  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Vorticella microstoma</i> Ehr.           | 4                                | 4  | 1  | 1  | 4              | 3  | 1  | 1  | 3              | +  | +  | —  | 5                                | 2  | 1  | +  | 3              | 3  | 2  | —  | 4              | 2  | 2  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Ciliata</i> n. det.                      | 1                                | 1  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | 1                                | 1  | —  | —  | +              | —  | +  | —  | 1              | 1  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Discophrya</i> sp.                       | 2                                | 1  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | +              | +  | +  | —  | —                                | +  | —  | —  | —              | +  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Podophrya fixa</i> (Müll.)               | 2                                | 2  | 1  | —  | —              | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | +                                | +  | —  | +  | —              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Tokophrya quadripetita</i> (Clap. La)    | 4                                | 3  | 1  | 1  | 4              | 3  | 1  | 1  | 3              | 1  | +  | +  | 2                                | —  | +  | —  | 2              | +  | —  | —  | 1              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Nematodes</i> n. det.                    | 1                                | 1  | 1  | 1  | +              | 2  | +  | 3  | +              | +  | +  | +  | —                                | 3  | 3  | 2  | +              | 1  | +  | 1  | 1              | 2  | 1  | +  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Habrotrecha bidens</i> (Gosse)           | 2                                | 2  | 1  | 2  | 2              | +  | 3  | 2  | +              | +  | +  | +  | 2                                | 5  | 3  | 3  | 2              | 5  | 3  | 3  | 2              | 2  | 2  | 1  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Rotatoria</i> n. det.                    | 2                                | 2  | —  | —  | +              | —  | +  | —  | +              | —  | —  | —  | +                                | —  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cephalodella</i> sp.                     | +                                | 1  | —  | —  | +              | +  | —  | —  | +              | —  | —  | —  | 1                                | 1  | —  | —  | +              | 1  | —  | —  | —              | —  | —  | —  | —                                | —  | —  | —  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

W komorze kontrolnej przez cały czas prowadzenia badań utrzymywał się podobny skład biocenozy jaki opisano dla osadu czynnego po kilkutygodniowym okresie jego adaptacji. Obserwowano jedynie stopniowy zanik, nielicznych zresztą glonów, co spowodowane było prawdopodobnie brakiem dostępu światła.

## Dyskusja

Literatura fachowa [6, 11, 12, 13] polska i zagraniczna potwierdza otrzymane przez nas wyniki. Podaje ona, że usuwanie detergentów zachodzi zwykle w zakresie od 45 do 98%. Jest ono w znacznym stopniu uwarunkowane budową chemiczną detergentów, a także zmianami w obciążeniu osadu spowodowanym wahaniami w składzie ścieków dopływających do komór osadu czynnego. Usuwanie ChZT ze ścieków, z dodatkiem Rokafenoli N-8 i NX-8 oraz Rokanolu L-10, było uwarunkowane podobnie jak usuwanie samych detergentów obciążeniem osadu. W przypadku obu Rokafenoli usuwanie ChZT przebiegało wydajniej przy niższych obciążeniach osadu i sięgało do 90%. W przypadku Rokanolu L-10 redukcja niższa — do 88% i uzyskano ją przy wyższym obciążeniu osadu ładunkiem ChZT.

Proces nityfikacji do azotu azotanowego przebiegał dość dobrze w czasie oczyszczania ścieków, ale tylko przy dłuższym okresie napowietrzania ścieków w komorze. Skrócenie czasu zatrzymania ścieków w komorze osadu do 2 godz. powodowało hamowanie przemian nityfikacyjnych. Te niekorzystne warunki powodowały także zmniejszenie właściwości sedymentacyjnych osadu i wzrost indeksu osadowego. Wysoki stopień usuwania detergentów uzyskany w badaniach sugerował, że część z nich mogła być absorbowana na osadzie czynnym. W celu wyjaśnienia tego zagadnienia wykonywano w czasie testów benzenową i wodną ekstrakcję osadu. Ujemne wyniki oznaczania detergentów wykluczyły jednak ewentualną absorpcję. Potwierdza to, prowadzone w tym samym celu badanie Rudling'a [14], które także nie wykazało absorbowania się detergentów na kłaczkach osadu w trakcie oczyszczania ścieków. Badania biologiczne osadu czynnego wykazały selektywne działanie omawianych detergentów niejonowych na poszczególne organizmy. W przypadku Rokafenolu NX-8 najbardziej odpornym okazał się gatunek *Cyclidium* sp. z grupy Ciliata, który jako jedyny przetrwał najkorzystniejsze warunki, gdy inne organizmy z tej grupy wyginęły. Przy zastosowaniu Rokafenolu N-8 obserwowano

Tabela 3

WYKAZ ORGANIZMÓW OSADU CZYNNEGO WYSTĘPUJĄCYCH W CZASIE OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW ZAWIERAJĄCYCH RÓŻNE STĘŻENIA ROKAFENOLU NX-8

| t zatrzymania ścieków                      | t=8 h                             |    |    |    |             |    |    |    |             |    |    |    | t=4 h       |    |    |    |             |    |    |    |             |    |    |    | t=2 h |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-----------------------------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  | Rokafenol NX-8 mg/dm <sup>3</sup> |    |    |    |             |    |    |    |             |    |    |    |             |    |    |    |             |    |    |    |             |    |    |    |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Organizmy osadu czynnego                   | kon. troina                       | 15 | 30 | 45 | kon. troina | 15 | 30 | 45 | kon. troina | 15 | 30 | 45 | kon. troina | 15 | 30 | 45 | kon. troina | 15 | 30 | 45 | kon. troina | 15 | 30 | 45 |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Zooglea ramigera</i> Iżig.              | 2                                 | 1  | 2  | 4  | 1           | +  | 1  | 2  | 1           | +  | 1  | +  | 5           | 3  | 5  | 4  | 5           | 5  | 5  | 5  | 2           | 4  | 4  | 4  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Sphaerotilus natans</i> Kütz.           | 1                                 | 1  | 3  | 3  | 1           | 1  | 1  | 2  | 1           | 1  | 1  | 2  | 2           | 3  | 3  | 3  | 2           | 3  | 4  | 5  | 2           | 5  | 4  | 5  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Sphaerotilus dichotomus</i> (Cohn) M.   | 1                                 | 1  | 3  | 4  | +           | +  | +  | 3  | +           | +  | +  | 2  | 1           | 3  | 3  | 4  | 1           | 3  | 3  | 4  | 2           | 2  | 3  | 4  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Beggiatoa alba</i> (Vauch.)             | —                                 | —  | —  | —  | —           | —  | +  | —  | +           | —  | +  | —  | —           | +  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Bacteriophyta n.det. (pałeczki)            | 1                                 | 5  | 5  | 5  | +           | 3  | 3  | 5  | +           | 3  | 4  | 4  | +           | 3  | 3  | 5  | 1           | 2  | 5  | 5  | 2           | 5  | 5  | 5  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Euglena viridis</i> (Schröter) Ehr.     | +                                 | —  | +  | —  | +           | +  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Bacillariophyceae n.d.                     | +                                 | +  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Amoeba limax</i> Duj.                   | —                                 | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | 1  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | 1           | +  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cochliopodium granulatum</i> Pen.       | 2                                 | 2  | 3  | 2  | 1           | +  | —  | +  | 1           | 1  | +  | +  | 1           | 1  | 2  | 2  | 1           | 3  | 2  | 1  | 2           | 2  | +  | +  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Rhizopoda n. det.                          | 1                                 | 2  | 1  | 2  | +           | +  | +  | 3  | +           | —  | —  | —  | +           | 3  | 1  | 1  | 1           | +  | +  | 1  | 1           | 1  | 1  | 1  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.           | +                                 | +  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flagellata apochromatica n. det.           | 2                                 | 3  | 3  | 3  | 1           | 1  | 1  | 1  | 1           | 3  | 4  | 4  | 2           | 3  | 5  | 4  | 1           | 4  | 3  | 1  | 2           | 5  | 4  | 2  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Litonotus</i> sp.                       | 2                                 | 1  | 2  | —  | +           | +  | +  | 1  | +           | +  | —  | —  | 2           | —  | —  | —  | 2           | —  | —  | —  | 2           | +  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Chilodonella uncinata</i> Ehr.          | 4                                 | 3  | 3  | 2  | 4           | 4  | 3  | 3  | 4           | 2  | 2  | +  | 3           | 2  | 1  | +  | 4           | 1  | 1  | —  | 3           | 1  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Paramecium caudatum</i> Ehrb. Müll.     | 2                                 | 1  | 1  | 1  | 2           | +  | 1  | +  | 2           | 3  | 3  | 2  | 3           | 3  | 3  | 2  | 2           | +  | +  | —  | 4           | +  | +  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Paramecium trichium</i> Stok.           | 1                                 | —  | +  | —  | +           | 1  | —  | 1  | +           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | 1           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Stylonychia putrina</i> Stok.           | +                                 | +  | —  | —  | 1           | —  | +  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cinetochillum margaritaceum</i> Pertr   | 2                                 | 1  | —  | —  | 1           | +  | +  | —  | 1           | +  | +  | —  | 3           | +  | —  | —  | 3           | —  | —  | —  | 3           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cyclidium</i> sp.                       | +                                 | +  | —  | +  | 1           | —  | —  | —  | 2           | +  | +  | +  | 2           | 1  | 5  | 5  | 2           | 5  | 5  | 4  | 2           | 5  | 5  | 5  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Urostyla</i> sp.                        | 2                                 | +  | 1  | —  | +           | +  | —  | —  | 1           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  | 2           | —  | —  | —  | 2           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Aspidisca costata</i> (Duj) Clap. La.   | 4                                 | 2  | 1  | +  | 3           | +  | 1  | +  | 3           | +  | —  | —  | 3           | —  | 1  | —  | !           | —  | —  | —  | 3           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Aspidisca lynceus</i> Ehr.              | +                                 | —  | +  | +  | 1           | +  | —  | —  | +           | +  | +  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Opercularia coarctata</i> (Clap.) Lachm | 4                                 | 2  | +  | +  | 3           | 1  | 1  | +  | 3           | —  | +  | —  | 3           | +  | —  | +  | 3           | —  | —  | —  | 2           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Vorticella microstoma</i> Ehr.          | 4                                 | 2  | 2  | 1  | 3           | +  | +  | 1  | 3           | +  | +  | +  | 5           | 2  | 2  | —  | 3           | 2  | —  | —  | 4           | 3  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ciliata n.det.                             | 1                                 | 1  | +  | +  | 1           | +  | +  | 2  | +           | +  | —  | +  | 1           | +  | —  | +  | +           | —  | —  | —  | +           | +  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Discophrya sp.                             | 2                                 | +  | 1  | +  | —           | +  | —  | —  | +           | —  | +  | —  | 1           | —  | +  | —  | —           | —  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Podophrya fixa</i> (Müll)               | 2                                 | 1  | 2  | +  | 2           | —  | +  | —  | 1           | —  | +  | —  | +           | 1  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | 1           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Tetophrya quadripatita</i> (Clap. La)   | 3                                 | 2  | 1  | 1  | 3           | +  | 2  | 1  | 3           | +  | 1  | 1  | 3           | +  | 1  | 1  | 2           | 1  | +  | —  | 3           | +  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nematodes n.det.                           | 1                                 | 2  | 2  | 1  | +           | +  | +  | 2  | 1           | +  | +  | +  | 1           | 3  | 1  | 3  | 1           | 1  | +  | 1  | 1           | 3  | 1  | 2  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Habrotrocha bidens</i> (Gosse)          | 2                                 | 1  | 2  | 1  | 1           | +  | +  | 2  | 1           | +  | +  | +  | 2           | 3  | 3  | 2  | 2           | 3  | 1  | +  | 2           | 2  | 1  | 1  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cephalodella</i> sp.                    | +                                 | —  | +  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  | 1           | —  | +  | —  | —           | —  | —  | —  | +           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Rotatoria n.det.                           | 1                                 | 1  | —  | —  | +           | 1  | 1  | —  | —           | —  | +  | —  | +           | —  | —  | —  | +           | +  | —  | —  | —           | —  | —  | —  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

dotatkowo gatunek *Chilodonella uncinata*. Przy użyciu Rokanolu L-10 notowano kilka gatunków Ciliata, które rozwijały się dobrze przy najwyższych stosowanych stężeniach tego detergentu. Należały do nich: *Paramecium caudatum*, *Aspidisca costata* i *Vorticella microstoma*. We wszystkich przypadkach stwierdzono również zwiększenie ilości bakterii.

Dane z piśmiennictwa, dotyczące działania substancji powierzchniowo-czynnych na organizmy wodne, podają wyniki rozbieżne. Rzechowska [6] pisze, że w czasie prowadzenia testu z detergentami niejonowymi, osad czynny zawierał niewiele organizmów zwierzęcych, które reprezentowane były głównie przez zarodki z rodzaju *Arcella* i *Diffugia* oraz Ciliata z rodzaju *Litonotus* i *Epistylis*. Wraz ze wzrostem stężenia detergentów obserwowano zmniejszenie liczebności lub zanik organizmów zwierzęcych. Toksyczne działanie podobnych związków wykazał również Wildish [15], który prowadził badania na rybach. Natomiast Pawluczuk-Szpilowa i Leonowicz-Babiak [7] informują, że detergenty niejonowe powodują wyraźne zmiany w intensywności procesów metabolicznych w rozwoju populacji organizmów ale, że wpływają na nie wybiórczo, działając stymulująco na jedne gatunki a hamująco na drugie, przy tym

samym stężeniu. To samo stwierdzają Dawis i Gloyna [16] przy wykonywaniu testów na 18 gatunkach glonów. Ponadto dowodzą oni, że tego typu biocenozy, jakie występują w osadzie czynnym, ściekach surowych, przy stawach ściekowych mają większą zdolność do biodegradacji niejonowych związków powierzchniowo-czynnych niż kultury pojedynczych gatunków.

Z uwagi na różną budowę chemiczną poszczególnych detergentów niejonowych, uogólnienie działania tych związków czy ich wpływu na organizmy wodne jest bardzo skomplikowane.

## Wnioski

1. Przebadane detergenty niejonowe wykazały wybiórcze działanie na organizmy osadu czynnego. Przy zastosowaniu Rokafenolu N-8 największą odporność w grupie Ciliata wykazały gatunki *Chilodonella uncinata* i *Cyclidium* sp., a przy Rokafenolu NX-8 wyłącznie *Cyclidium*. W przypadku Rokanolu L-10 najbardziej odporne okazały się: *Aspidisca costata*, *Paramecium cadatum* i *Vorticella microstoma*.

2. Rokafenole N-8 i NX-8 usuwane były przez osad czynny odpowiednio, maksymalnie do 85 i 89<sup>0</sup>%, Rokanol L-10 83<sup>0</sup>%.

Tabela 4

WYKAZ ORGANIZMÓW OSADU CZYNNEGO WYSTĘPUJĄCYCH W CZASIE OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW ZAWIERAJĄCYCH RÓŻNE STĘŻENIA ROKANOLU L-10

| t zatrzymania ścieków<br>Rokanol L-10 mg/dm <sup>3</sup> | t=0 h          |    |     |     | t=4 h          |    |     |     | t=2 h          |    |     |     |                |    |     |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|----------------|----|-----|-----|----------------|----|-----|-----|----------------|----|-----|-----|----------------|----|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | kon-<br>trelna | 50 | 100 | 150 | kon-<br>trelna | 50 | 100 | 150 | kon-<br>trelna | 50 | 100 | 150 | kon-<br>trelna | 50 | 100 | 150 |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <i>Zooglea ramigera</i> Itzig.                           | 4              | 4  | 3   | 4   | 4              | 4  | 4   | 4   | 4              | 4  | 4   | 3   | 4              | 4  | 4   | 3   | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| <i>Sphaerothilus natans</i> Kütz.                        | 1              | 1  | 1   | 1   | 1              | 1  | 2   | +   | 2              | 1  | 2   | 2   | 2              | 2  | 3   | 2   | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| <i>Sphaerotilus dichotomus</i> (Cohn) M.                 | 1              | =  | 1   | +   | +              | -  | -   | -   | 1              | 1  | 1   | 2   | 2              | 4  | 4   | 5   | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Bacteriophyta n. det. (palczki)                          | +              | -  | -   | +   | 1              | 2  | 1   | 3   | 1              | 2  | 2   | 2   | +              | 2  | 2   | 1   | 2 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | 4 | 5 |
| Bacteriophyceae n.d.                                     | +              | -  | +   | -   | +              | -  | -   | -   | -              | -  | -   | -   | -              | -  | -   | -   | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Amoeba limax</i> Duj.                                 | +              | 1  | 1   | 3   | 1              | 1  | -   | -   | 1              | -  | +   | -   | +              | -  | -   | -   | + | + | - | 1 | 1 | - | - | - |
| <i>Mayrella vespertilis</i> Pen.                         | +              | +  | 1   | +   | 1              | 2  | 2   | 1   | 1              | 4  | 4   | 4   | 2              | 4  | 4   | 4   | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Cochlopedium granulatum</i> Pen.                      | +              | 1  | 2   | -   | 2              | 3  | 1   | 3   | 2              | 3  | 2   | 3   | 2              | 3  | 3   | 3   | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | - |
| Rhizopoda n.det.   | 2              | 2  | 1   | 2   | 2              | 2  | 2   | 2   | 2              | +  | 1   | +   | 1              | -  | +   | +   | 1 | 1 | + | - | + | 2 | 2 | 1 |
| <i>Flagellata aspechromatica</i> ndet.                   | 3              | 3  | 3   | 4   | 4              | 3  | 4   | 4   | 3              | 4  | 3   | 3   | ?              | 4  | 3   | 3   | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| <i>Litonotus fasciola</i> Ehr.                           | 4              | 4  | 4   | 1   | 5              | 4  | 5   | 4   | 4              | 3  | 3   | 4   | 4              | 3  | 4   | 3   | 4 | 3 | 2 | - | 3 | 1 | - | - |
| <i>Chilodonella uncinata</i> Ehr.                        | +              | 1  | -   | +   | 1              | -  | -   | +   | +              | -  | -   | +   | -              | +  | 1   | -   | - | + | - | - | + | + | - | - |
| <i>Chilodonella cucullulus</i> Duj.                      | -              | +  | -   | -   | +              | -  | +   | -   | +              | -  | -   | -   | -              | +  | -   | -   | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Paramecium caudatum</i> Ehrb. Müll.                   | 4              | 2  | 2   | 1   | 4              | 3  | 1   | 1   | 3              | 3  | 3   | 4   | 3              | 3  | 3   | 4   | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| <i>Paramecium trichium</i> Stokes                        | +              | -  | +   | -   | 1              | +  | -   | -   | 1              | -  | +   | -   | -              | -  | 1   | -   | + | 1 | - | + | 1 | + | 1 | + |
| <i>Cinetochium mergeriteceum</i> Petry                   | 3              | 1  | 2   | 3   | 3              | 3  | 2   | 2   | 3              | 3  | 2   | 1   | 3              | 2  | 2   | 3   | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| <i>Urostyla weissei</i> Stein.                           | 2              | 2  | 2   | +   | 1              | +  | -   | -   | +              | -  | -   | -   | -              | -  | -   | -   | + | - | - | - | + | - | - | - |
| <i>Euplotes</i> sp.                                      | 1              | 3  | 3   | 2   | 1              | 3  | 3   | 1   | 1              | -  | +   | -   | -              | +  | +   | -   | + | - | - | - | + | - | + | - |
| <i>Aspidisca costata</i> (Duj) Clap.La.                  | 4              | 4  | 3   | 3   | 3              | 4  | 2   | 3   | 3              | 3  | 3   | 2   | 4              | 4  | 4   | 3   | 3 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| <i>Aspidisca lynceus</i> Ehrb.                           | 1              | -  | +   | -   | +              | +  | +   | +   | +              | -  | -   | 1   | 2              | -  | 1   | -   | 3 | 1 | 1 | - | + | - | - | - |
| <i>Opercularia coarctata</i> (Clap. Lech)                | 4              | 4  | 3   | 4   | 3              | 3  | 1   | 3   | 3              | 4  | 4   | 3   | 3              | 2  | 3   | 2   | 3 | 1 | + | 1 | 1 | + | - | - |
| <i>Opercularia glomerata</i> Roux.                       | 1              | 1  | 1   | 1   | 1              | -  | +   | 1   | +              | 1  | 1   | 1   | 1              | +  | +   | 1   | 1 | 1 | 1 | + | + | - | + | - |
| <i>Vorticella microstoma</i> Ehr.                        | 4              | 5  | 4   | 4   | 4              | 5  | 4   | 5   | 4              | 4  | 5   | 4   | 4              | 4  | 4   | 5   | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 1 |
| <i>Cyclidium</i> sp.                                     | 2              | 1  | 1   | 3   | 1              | 3  | 1   | +   | 2              | 3  | 1   | 2   | 1              | 3  | 1   | 1   | 2 | 1 | 2 | + | 1 | 3 | 3 | + |
| Ciliata n.det.   | +              | -  | 1   | -   | 1              | +  | -   | -   | -              | +  | 1   | -   | +              | -  | -   | 1   | - | + | - | - | - | - | - | - |
| <i>Podophrya fixa</i> (Müll)                             | +              | -  | +   | -   | -              | -  | +   | -   | 1              | +  | -   | -   | -              | -  | -   | -   | 1 | - | - | + | - | - | - | - |
| <i>Podophrya</i> sp.                                     | -              | -  | -   | -   | 1              | 3  | -   | -   | -              | -  | -   | 3   | -              | -  | -   | -   | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Nematodes</i> n.det.                                  | 2              | 1  | 2   | 1   | 2              | +  | -   | 1   | 1              | 1  | 3   | 3   | 1              | 1  | 3   | 4   | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| <i>Habrotrecha bidens</i> (Gasse)                        | 1              | 1  | 1   | -   | 1              | +  | 1   | 1   | 1              | 1  | 1   | 1   | 1              | 1  | +   | +   | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| <i>Cephalodella</i> sp.                                  | 1              | 3  | +   | 1   | +              | 3  | +   | 1   | 2              | -  | +   | -   | 1              | +  | -   | -   | + | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Arachneidea</i> n.det.                                | 1              | 1  | -   | -   | 1              | +  | -   | -   | +              | -  | -   | -   | -              | +  | -   | -   | + | 1 | - | - | - | - | + | - |
| <i>Copepoda</i> n.det.                                   | +              | -  | -   | -   | -              | +  | -   | -   | 1              | 1  | -   | -   | 2              | 1  | 1   | -   | 1 | + | - | - | + | - | - | - |

3. Spadek usuwania występował przy najwyższym stosowanym w badaniach obciążeniu osadu ładunkiem detergentów ( $t=2$  godz.) oraz przy najwyższych stężeniach wynoszących dla Rokafenolu N-8 i NX-8 —  $45 \text{ mg/dm}^3$ , dla Rokanolu L-10 —  $150 \text{ mg/dm}^3$ .

#### LITERATURA

1. M. MAUSNER, I. H. BENEDICT, A. BOOMAN i in.: The status of biodegradability testing of nonionic surfactants. *J. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 46, Nr. 9, 1969, 432—440.
2. E. C. STEINLE, R. C. MYERLY, C. A. VOTH.: Surfactants containing ethylene oxide: relationship of structure to biodegradability. *J. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 41, Nr 12, 1964. 804—807.
3. K. MĘDRZYCKA: Biodegradacja związków powierzchniowo-czynnych. Tłuszcze, środki piorące i kosmetyki. Vol. XX, Nr 11, 1976, 354—360.
4. Q. W. OSBURN I. A. BENEDICT: Polyethoxylated alkyl phenols relationship of structure to biodegradation mechanism. *J. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 43, Nr 3, 1966, 141—146.
5. R. N. STURM: Biodegradability of nonionic surfactants: screening test for predicting rate and ultimate biodegradation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 50, Nr 5, 1973, 159—167.
6. E. RZETCHOWSKA: Rozkład wybranych niejonowych substancji powierzchniowo-czynnych metodą osadu czynnego. GWTS Nr 10/11, 1976, 304—307.
7. M. PAWLACZYK-SZPIŁOWA, K. LEONOWITZ-BABIĄK: Wpływ niejonowych związków powierzchniowo-czynnych z grupy mono eterów alkilowych polietylenowo i polipropylenoglikoli na przedstawicieli biocenozy wodnej. *Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej S. Inż. Sanit.* z 18 1974, 65—76.
8. Polska Norma PN-72/C-04550.09. Woda i Ścieki. Badania zawartości syntetycznych substancji powierzchniowo-czynnych oraz ich biochemicznego utleniania. Oznaczanie efektywności biochemicznego utleniania anionowych i niejonowych syntetycznych substancji powierzchniowo-czynnych metodą osadu czynnego w warunkach kinetycznych.
9. W. HERMANOWICZ, W. DOŻAŃSKI, J. DOJLIDO, B. KOZIOROWSKI: Fizyczno-chemiczne badania wody i ścieków. Wyd. Arkady, Warszawa, 1976.
10. J. PUDO: Badania biologiczne złoza w czyszczalni ścieków na zamku w Pieskowej Skale. GWTS, Nr 6, 1978, 175—176.
11. G. V. STENNETT, G. E. EDEN: Assessment of biodegradability of synthetic surfactants by tests simulating sewage treatment. *Wat. Res.* Vol. 5, 1971, 601—609.
12. M. ZDYBIEWSKA, Z. BUREK, K. MIKSCH: Badania porównawcze nad biodegradacją wybranych detergentów niejonowych. *Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, s. Inż. Sanit.* z 19, 1975, 61—72.
13. R. M. SYKES, A. I. RUBIN, S. A. ROTH: Ming Chan Chang. Treatability of a nonionic surfactant activated sludge. *J. Wat. Poll. Control Fed.* Vol. 51, Nr 1, 1979, 71—77.
14. L. RUDLING, P. SOLYMON: The investigation of biodegradability of branched nonyl ethoxylates. *Wat. Res.* Vol. 8 Nr 2, 1974, 115—119.
15. D. I. WILDISCH: Lethal response by Atlantic Salmon Parr to some polyoxyethylated cationic and nonionic surfactants. *Wat. Res.* Vol. 8, Nr 7, 1974, 433—437.
16. E. M. DAVIS, E. F. GLOYNA: The role of algae in degrading detergent surface active agents. *J. Wat. Poll. Control Fed.* Vol. 1, Nr 8, 1969, 1949—1504.