

Tadeusz Marcinkowski

Wpływ stabilizacji osadów wtórnych wodorotlenkiem wapnia na ich skład biologiczny

Osady wydzielone ze ścieków komunalnych mogą być wykorzystane do celów nieprzemysłowych pod warunkiem, że są ustabilizowane, czyli mają obniżoną podatność na zagniwanie i nie stanowią zagrożenia dla zdrowia. Celem stabilizacji osadów jest pozabawienie ich tendencji do wydzielania przykrych zapachów oraz dążenie do znacznego zmniejszenia liczebności – a nawet likwidacji – organizmów patogennych.

Stabilizację osadów można osiągnąć stosując wiele procesów, takich jak fermentacja, stabilizacja tlenowa, kompostowanie, wapnowanie, chemoliza, nadźwiękowanie, suszenie próżniowe oraz obróbka cieplna. Każdy z nich ma różną efektywność, tak w aspekcie fizyczno-chemicznym, jak i biologicznym, przy czym różnią się one także kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.

Od kilkunastu lat w fazie badań jest proces stabilizacji chemicznej osadów, polegający na ich alkalizacji suspensją wodorotlenku wapnia [1]. Zgodnie z wymogami zawartymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [2], na nieprzemysłowe wykorzystanie osadów nałożono wymagania bakteriologiczne i parazytologiczne. W osadach stosowanych w rolnictwie, a także do rekultywacji gruntów na potrzeby rolnicze, nie mogą być obecne bakterie z rodzaju *Salmonella* (w 100 g). Bakterie te przyjęto jako jedyny organizm wskaźnikowy skażenia bakteriologicznego osadów. Jednocześnie wymogi parazytologiczne dla osadów stosowanych w rolnictwie nie dopuszczają obecności żywych form jaj pasożytów jelitowych, tj. *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* i *Toxocara sp.* (w 1 kg suchego osadu), natomiast w wypadku rekultywacji terenów i dostosowania gruntów do potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu oraz do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz, a także upraw roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, ich liczba nie może być większa niż 300.

Wobec osadów utylizowanych w glebie nie sformułowano do tej pory wymogów mykologicznych, zarówno w Unii Europejskiej, jak i w Polsce. Całkowicie przemilczany jest problem zagrożenia spowodowanego powszechną obecnością grzybów chorobotwórczych w osadach. Jest to podejście niewłaściwe, tym bardziej, że metody analityczne dla osadów są już na tyle opanowane, że pozwalają na wiarygodną identyfikację tej grupy patogenów. Jedyną przeszkodą mogą być zbyt duże koszty analityki grzybów.

Z uwagi na zagrożenie parazytologiczne, dla osadów stworzono przepisy zapewniające względne bezpieczeństwo ich rolniczego wykorzystania (trzy organizmy wskaźnikowe), natomiast w wypadku zagrożenia bakteriologicznego jedynym wskaźnikiem jest *Salmonella*, która wykazuje znaczną wrażliwość na warunki środowiskowe, zatem jest organizmem mało wiarygodnym. Należałoby zatem przyjąć dodatkowo jako organizmy wskaźnikowe bakterie z grupy *coli* i bakterie przetrwalnikujące *Clostridium perfringens*, które są o wiele bardziej odporne na niekorzystne warunki środowiskowe. Z kolei w wypadku badań mykologicznych można zastosować przynajmniej oznaczanie ogólnej liczby grzybów.

Czynnikiem efektywnie ograniczającym, bądź likwidującym, obecność patogenów w dobrze odwodnionych osadach ściekowych jest wysoka wartość pH [3–7], co potwierdzono stosując duże dawki wapna palonego do odkażania osadów. Podobne efekty uzyskano stosując wobec odwodnionych osadów wysokie dawki popiołów lotnych [8], np. ze spalania węgla brunatnego z rejonu Konina i Bełchatowa, charakteryzujących się wysoką zawartością substancji silnie zasadowych. Równie skuteczne, w aspekcie biologicznym, w porównaniu z metodami bazującymi na stosowaniu wapna palonego lub zasadowych popiołów, może być użycie suspensji wodorotlenku wapnia wobec osadów zagęszczonych, co przedstawiono w niniejszym artykule.

Cel i zakres badań

Stosowanie tlenku wapnia (wapno palone) wobec osadów wymaga użycia jego znacznych ilości. Dawki wapna palonego w wypadku osadów jedynie zagęszczonych o uwodnieniu 98+99% wynoszą około 7+8 kgCaO/kg (w odniesieniu do suchej masy osadów). Są one tak wysokie z uwagi na wymogi technologiczne procesu, takie jak temperatura 50+70 °C i chociażby częściowe zestalenie produktu. Z kolei zastosowanie zasadowych popiołów do stabilizacji osadów uniemożliwia rolnicze wykorzystanie produktu [8], przeciwnie jak w wypadku stosowania wapna, ponieważ popioły zawierają szkodliwe domieszki, jak np. metale ciężkie. W wypadku stabilizowania osadów popiołami uzyskany produkt nie nadaje się do utylizacji w glebie i można go jedynie składować. Dążąc do ograniczenia zużycia wapna palonego i uniknięcia stosowania popiołów w procesie chemicznej stabilizacji osadów oraz w celu wytworzenia nawozu osadowego o niezbyt wysokiej zawartości wapnia w stosunku do masy organicznej osadów, zaproponowano metodę stabilizacji osadów ściekowych przy użyciu suspensji wodorotlenku wapnia. Proces ten może być alternatywą wobec biochemicznych metod stabilizacji

osadów, szczególnie w małych oczyszczalniach ścieków, w których budowa i eksploatacja komór fermentacji lub stabilizacji tlenowej byłaby zbyt kosztowna.

Celem badań omówionych w niniejszej pracy było określenie przydatności niewielkich dawek suspensji wodorotlenku wapnia stosowanego wobec osadów wtórnych, jedynie zagęszczonych, w celu stabilizacji ich składu biologicznego.

Materiały i metodyka badań

Badania przeprowadzono wykorzystując osady wtórne z oczyszczalni ścieków znajdujących się na Dolnym Śląsku i w Wielkopolsce. Pobrane do badań próbki osadów zaszczepiono jajami glisty świńskiej (*Ascaris lumbricoides suum*), organizmem najbardziej opornym na niekorzystne warunki środowiskowe, wprowadzając jego stałą dawkę na jednostkę objętości osadu (około 1000 jaj w 1 dm³). Następnie zhomogenizowany osad zadano różnymi dawkami suspensji wodorotlenku wapnia, tj.:

- 1,4 kgCa(OH)₂/m³,
- 2,8 kgCa(OH)₂/m³,
- 4,2 kgCa(OH)₂/m³,
- 6,3 kgCa(OH)₂/m³,
- 8,4 kgCa(OH)₂/m³,

które dla osadu o uwodnieniu 98,87% odpowiadały następującym dawkom (w przeliczeniu na suchą masę osadu):

- 0,13 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,27 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,41 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,61 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,81 kgCa(OH)₂/kg,

a dla osadu o uwodnieniu 98,22% dawkom (w przeliczeniu na suchą masę osadu):

- 0,08 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,16 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,23 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,35 kgCa(OH)₂/kg,
- 0,47 kgCa(OH)₂/kg.

Tak spreparowane osady poddano mechanicznemu mieszaniu w czasie kilku minut, po czym uzyskane mieszaniny stabilizowano chemicznie przez 24 godz. lub 35 dób i po upływie tego czasu poddano analizie. Wyniki analiz osadów bez dodatku wodorotlenku wapnia stanowiły odniesienie do oceny efektów procesu alkalizacji osadów. Podczas procesu w reaktorach mierzono pH mieszaniny osadu i wodorotlenku wapnia. W zakres analizy biologicznej wchodziły oznaczenia bakteriologiczne, mykologiczne i parazytologiczne.

Badania bakteriologiczne obejmowały oznaczenie liczby bakterii psychrofilnych, mezofilnych, bakterii *Escherichia coli* (NPL), przetrwalników *Clostridium perfringens* oraz jakościowe oznaczenie bakterii z rodzaju *Salmonella*. Badania mykologiczne obejmowały oznaczenie ogólnej zawartości grzybów psychrofilnych i mezofilnych, natomiast badania parazytologiczne polegały na oznaczeniu liczby jaj *Ascaris lumbricoides suum*, larw *Musca domestica* oraz *Culex sp.* i *Anopheles sp.* W niektórych próbkach wykonano również badania na obecność innych pasożytów, wykonując szczegółową analizę parazytologiczną.

W analizie bakteriologicznej osadów wykorzystano wytyczne opracowane przez Instytut Medycyny Wsi w Lublinie [12]. Badania bakterii grupy *coli* wykonano dla naważki 10 g wytrząsanej przez 10 min. Ich liczebność oznaczono metodą NPL, wykorzystując podłoże Kesslera-Swenartona. Próbki z posiewami inkubowano w temperaturze 37 °C przez 48 godz. Badania zawartości bakterii przetrwalnikujących (*Clostridium perfringens*) wykonano stosując naważkę 10 g osadu. W celu usunięcia wegetatywnych form bakterii szereg rozcieńczeń inkubowano przez 20 min w temperaturze 80 °C, a następnie posiano metodą głębinową na podłoże Wilsona-Blaira. W celu zapewnienia próbkom warunków beztlenowych przygotowane posiewy zalano 3 mm warstwą agaru zwykłego. Posiewy inkubowano w temperaturze 37 °C przez 24 godz.

Badania na obecność bakterii z rodzaju *Salmonella* wykonano stosując podłoża namnażające oraz różnicująco-selektywne. W pierwszym etapie badań zastosowano podłoże namnażające z seleninu sodu (SE). Z badanej próbki sterylnie przeniesiono naważkę 10 g osadu do 90 cm³ podłoża SE. Hodowlę prowadzono w temperaturze 316 K przez 18 godz. Namnożone drobnoustroje przeniesiono na podłoża różnicująco-selektywne *Salmonella-Shigella* (SS), a w następnej kolejności dokonano potwierdzenia obecności bakterii *Salmonella* w badaniach biochemicznych.

Analizę mykologiczną przeprowadzono na podłożach Sabouraud i Czapeka-Doxa. Zaszczepione podłoża inkubowano w temperaturach 20 °C i 37 °C. Odczyty wykonano ilościowo po upływie 3 dób i 10 dób inkubacji, odpowiednio dla grzybów psychrofilnych i mezofilnych. Analizę parazytologiczną wykonano metodą McMastera [10], polegającą na oznaczeniu liczebności organizmów w jednostce objętości (100 cm³) zawiesiny wodnej badanych osadów, którą wirowano przy 2500 obr./min w czasie 10 min. Uzyskany osad poddano analizie mikroskopowej. Oprócz jaj *Ascaris lumbricoides suum*, którymi zaszczepiono osady, oznaczono także jaja *Trichuris sp.* i *Toxocara sp.* oraz określono obecność larw stawonogów *Musca domestica*, *Culex sp.* i *Anopheles sp.*

Wyniki analiz biologicznych wykonanych dla osadów niestabilizowanych i stabilizowanych dodatkiem suspensji wodorotlenku wapnia przez 24 godz. i 35 dób zestawiono w tabelach 1 i 2, natomiast niektóre zależności przedstawiono na rysunkach 1–8.

Dyskusja wyników badań

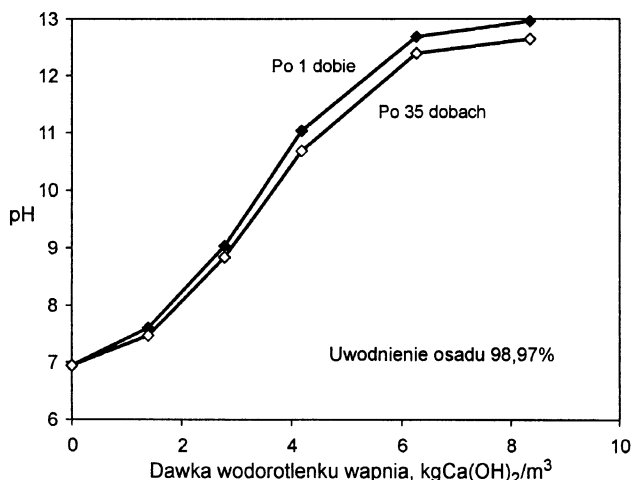
Wartość pH próbek osadu o uwodnieniu 98,22%, stabilizowanego przez 24 godz., wzrastała od około 6,5 do ponad 12,4, natomiast w wypadku osadu o uwodnieniu 98,97% – od 7,0 do prawie 13,0. Wartości pH próbek stabilizowanych przez 35 dób były niższe o około 0,5 jednostki dla próbek osadu o uwodnieniu 98,22% i o około 0,4 jednostki dla osadu o uwodnieniu 98,97% (rys. 1 i 2). Wzrostowi wartości pH przy dłuższym czasie stabilizacji towarzyszył spadek intensywności odorów wydzielających się z próbek osadów oraz wzrost intensywności żółtego zabarwienia cieczy osadowej, które pogłębiło się wraz z dawką wodorotlenku wapnia. Zjawiskom tym towarzyszyło obniżenie liczebności bakterii, grzybów, larw owadów i jaj robaków.

Tabela 1. Zmiany składu biologicznego osadu wtórnego podczas alkalizacji suspensją wodorotlenku wapnia (uwodnienie początkowe 98,22%)

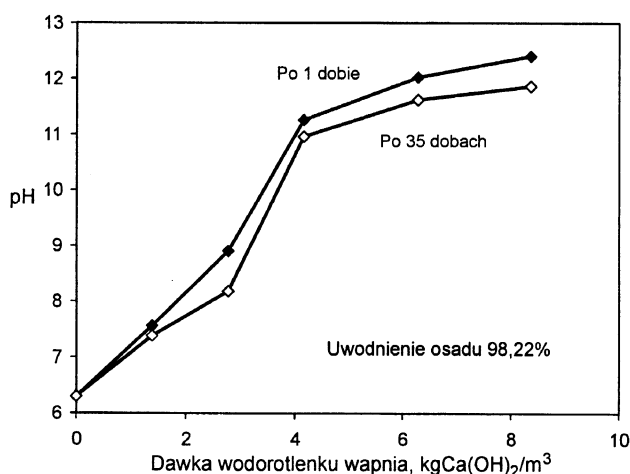
Parametr/wskaźnik, jednostka		Próbka kontrolna	Próbki po 1 dobie kontaktu					Próbki po 35 dobach kontaktu				
Dawka wapna	kgCa(OH) ₂ /m ³	0	1,39	2,78	4,18	6,27	8,36	1,39	2,78	4,18	6,27	8,36
	kgCa(OH) ₂ /kg	0	0,08	0,16	0,23	0,35	0,47	0,08	0,16	0,23	0,35	0,47
pH,–		6,31	7,56	8,9	11,26	12,03	12,41	7,39	8,19	10,96	11,62	11,87
Bakterie psychrofilne w 1 g		3,6·10 ⁸	4,2·10 ⁸	1,2·10 ⁷	1,0·10 ⁴	2,1·10 ³	8,6·10 ²	–	–	–	–	–
Bakterie mezofilne w 1 g		1,6·10 ⁷	2,4·10 ⁷	9,2·10 ⁵	7,6·10 ³	4,4·10 ²	3,2·10 ²	6,7·10 ⁶	3,3·10 ⁵	1,8·10 ³	2,0·10 ²	6,0·10 ¹
Bakterie przetrwalnikujące w 1 g		3,8·10 ⁵	2,6·10 ⁵	3,1·10 ⁵	1,7·10 ⁴	1,8·10 ²	2,4·10 ²	2,6·10 ⁵	2,0·10 ⁵	1,1·10 ⁴	5,6·10 ²	1,2·10 ²
NPL bakterii grupy <i>coli</i> w 100 cm ³		7,0·10 ⁶	7,0·10 ⁶	2,4·10 ⁵	1,8·10 ³	5,0·10 ⁵	1,8·10 ¹	5,0·10 ⁵	1,9·10 ⁵	9,5·10 ²	0	<5
Bakterie <i>Salmonella</i> w 1 cm ³		obecne	obecne	brak	brak	brak	brak	obecne	brak	brak	brak	brak
Grzyby psychrofilne w 1 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	brak	brak	obecne (+++)	obecne (++)	obecne (+)	brak	brak
Grzyby mezofilne w 1 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)	obecne (++)	brak	brak	obecne (+++)	obecne (++)	obecne (+)	brak	brak
Glista świńska (<i>Ascaris l. suum</i>) w 100 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)
Glista psia, kocia (<i>Toxacara sp.</i>) w 100 cm ³		brak	obecne (+)	brak	brak	brak	brak	brak	brak	brak	–	–
Włosogłówka (<i>Trichocephalus sp.</i>) w 100 cm ³		brak	–	–	brak	–	–	–	–	brak	–	–
Mucha (<i>Musca domestica</i>) w 100 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	brak	brak
Komar (<i>Culex sp., Anopheles sp.</i>) w 100 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	obecne (+)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	brak	brak

Tabela 2. Zmiany składu biologicznego osadu wtórnego podczas alkalizacji suspensją wodorotlenku wapnia (uwodnienie początkowe 98,97%)

Parametr/wskaźnik, jednostka		Próbka kontrolna	Próbki po 1 dobie kontaktu					Próbki po 35 dobach kontaktu				
Dawka wapna	kgCa(OH) ₂ /m ³	0	1,39	2,78	4,18	6,27	8,36	1,39	2,78	4,18	6,27	8,36
	kgCa(OH) ₂ /kg	0	0,13	0,27	0,41	0,61	0,81	0,13	0,27	0,41	0,61	0,81
pH,–		6,93	7,61	9,04	11,04	12,68	12,97	7,46	8,84	10,69	12,4	12,65
Bakterie psychrofilne w 1 g		2,2·10 ⁶	2,6·10 ⁶	1,8·10 ⁵	2,2·10 ⁴	4,0·10 ²	0	–	–	–	–	–
Bakterie mezofilne w 1 g		9,1·10 ⁵	6,2·10 ⁵	4,4·10 ⁴	8,4·10 ³	1,4·10 ²	0	4,0·10 ⁴	1,7·10 ⁴	3,8·10 ³	0	0
Bakterie przetrwalnikujące w 1 g		2,2·10 ⁴	2,4·10 ⁴	1,8·10 ⁴	1,4·10 ³	6,0·10 ²	3,6·10 ²	2,2·10 ⁴	2,4·10 ⁴	4,8·10 ²	2,2·10 ²	0
NPL bakterii grupy <i>coli</i> w 100 cm ³		9,0·10 ⁵	1,2·10 ⁶	6,2·10 ⁴	2,8·10 ³	6,0·10 ¹	0	4,8·10 ⁵	2,8·10 ³	2,2·10 ³	0	0
Bakterie <i>Salmonella</i> w 1 cm ³		obecne	obecne	brak	brak	brak	brak	obecne	brak	brak	brak	brak
Grzyby psychrofilne w 1 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)	brak	brak	obecne (+++)	obecne (++)	brak	brak	brak
Grzyby mezofilne w 1 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)	brak	brak	brak	obecne (+++)	obecne (++)	brak	brak	brak
Glista świńska (<i>Ascaris l. suum</i>) w 100 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)	obecne (+)
Glista psia, kocia (<i>Toxacara sp.</i>) w 100 cm ³		brak	–	–	brak	–	–	brak	brak	–	–	–
Włosogłówka (<i>Trichocephalus sp.</i>) w 100 cm ³		brak	–	–	brak	–	–	brak	brak	–	–	–
Mucha (<i>Musca domestica</i>) w 100 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)	brak
Komar (<i>Culex sp., Anopheles sp.</i>) w 100 cm ³		obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (+++)	obecne (++)	brak



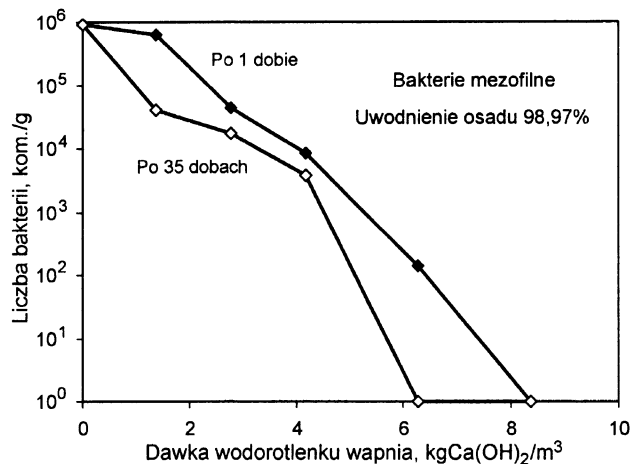
Rys. 1. Zmiana wartości pH osadu w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji (uwodnienie 98,97%)



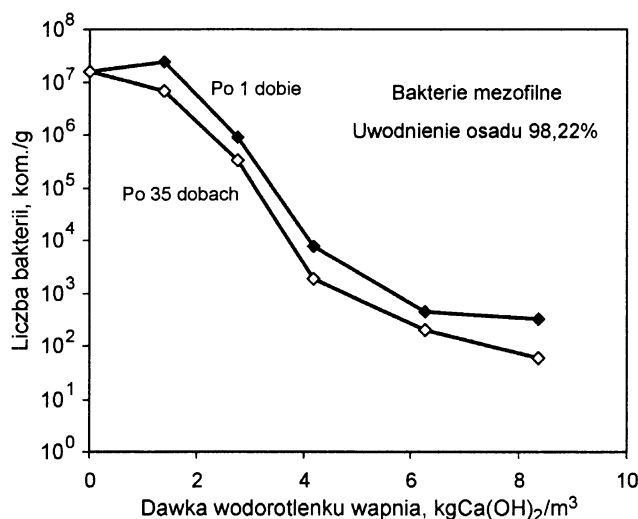
Rys. 2. Zmiana wartości pH osadu w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji (uwodnienie 98,22%)

W tabeli 1 zamieszczono wyniki badań dla osadu wtórnego o uwodnieniu początkowym 98,22%, a w tabeli 2 o uwodnieniu początkowym 98,97%. Zaobserwowano pewne kierunki zmian składu biologicznego osadów wraz ze wzrostem czasu trwania procesu alkalizacji i dawek wodorotlenku wapnia w mieszaninach osadowych, przy czym im wyższe było początkowe pH, tym bardziej skuteczne było niszczenie patogenów. Po 24 godz. stabilizacji liczebność bakterii psychrofilnych uległa obniżeniu w osadzie o uwodnieniu 98,22% o 99,99995% przy pH=12,41, a w osadzie o uwodnieniu 98,97% bakterie te u nieszkodliwiono całkowicie przy pH=12,97. W tym samym czasie bakterie z rodzaju *Salmonella* uległy likwidacji w pierwszym osadzie przy pH=8,90, a w drugim osadzie przy pH=9,04 (tab. 1 i 2).

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zmiany liczebności bakterii mezofilnych w zależności dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji osadów wtórnych o różnym uwodnieniu. Wykazano, że w osadzie o uwodnieniu 98,97% całkowita likwidacja tych mikroorganizmów przy pH=12,97 (dawka 8,4 gCa(OH)₂/m³) nastąpiła już po 24 godz., natomiast przy pH=12,68 efekt ten uzyskano po 35 dobach. Z kolei w osadzie o uwodnieniu 98,22% przy pH=12,41 (ta sama dawka) stwierdzono obecność ponad 300 komórek bakterii mezofilnych w 1 cm³ po 24 godz., a po dalszych 35 dobach nadal stwierdzono



Rys. 3. Zmiana liczebności bakterii mezofilnych w osadach wtórnych w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu reakcji (uwodnienie 98,97%)

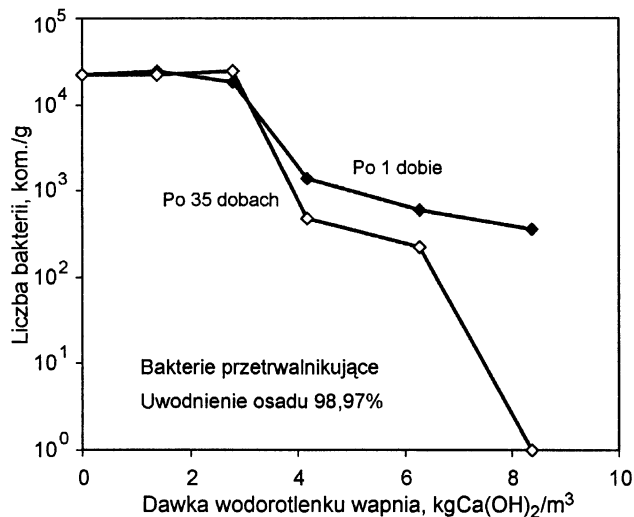


Rys. 4. Zmiana liczebności bakterii mezofilnych w osadach wtórnych w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu reakcji (uwodnienie 98,22%)

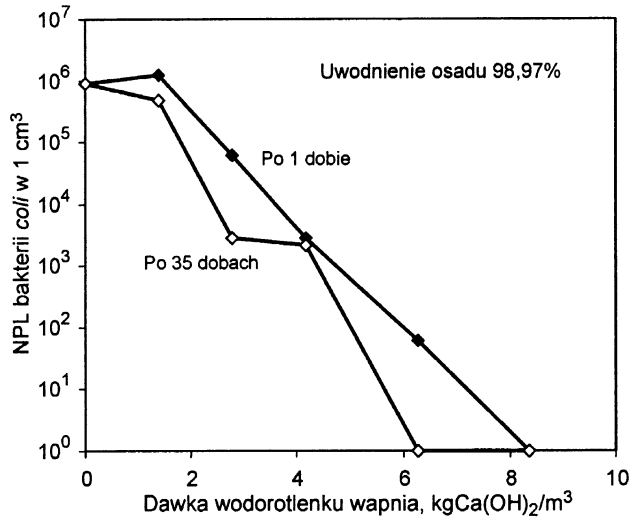
ich obecność na poziomie kilku komórek. Wykazano, iż pomimo zastosowania tej samej dawki wodorotlenku wapnia, niszczenie bakterii mezofilnych przebiegało znacznie efektywniej w osadzie bardziej uwodnionym, co było spowodowane wyższą wartością uzyskanego początkowego pH wytworzonej mieszaniny osadowej.

Przebieg procesu dezaktywacji mikroorganizmów obecnych w osadach, oceniany zawartością bakterii przetrwalnikujących *Clostridium perfringens*, zobrazowano na rysunkach 5 i 6. Stopień ich niszczenia był podobny jak w wypadku bakterii mezofilnych, czyli w osadzie mniej uwodnionym likwidacja przebiegała gorzej niż w osadzie bardziej uwodnionym, co wynikało również z wartości pH, pośrednio z dawki wodorotlenku wapnia. W osadzie lepiej zagęszczonym bakterie przetrwalnikujące były obecne nawet po 35 dobach stabilizacji (pH=11,87), a w osadzie mniej zagęszczonym po tym czasie przy pH=12,65 już ich nie stwierdzono.

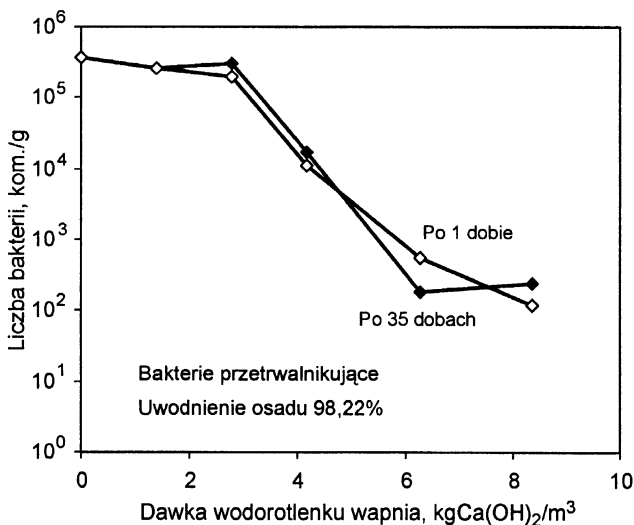
Oceniając przebieg dezaktywacji mierzony obecnością bakterii z grupy *coli* wykazano, iż były one niszczone całkowicie po 24 godz. w osadzie bardziej uwodnionym, przy dawce zapewniającej pH=12,97. Podobnie, lecz po 35 dobach, nie było ich również w próbce o pH=12,4. Z kolei w osadzie lepiej zagęszczonym po 24 godz. nie udało się zniszczyć bakterii



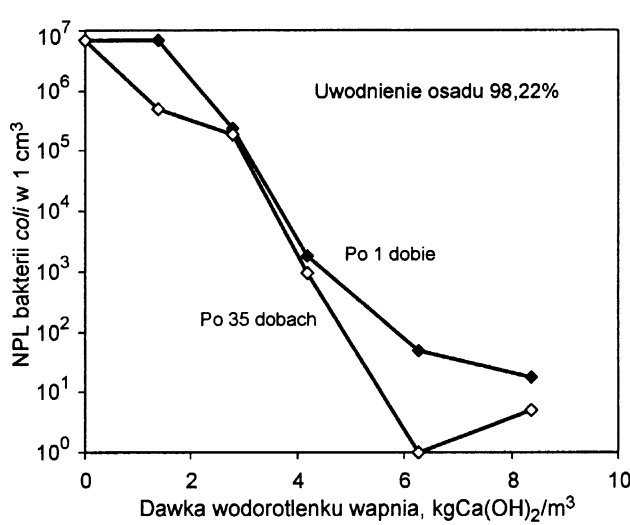
Rys. 5. Przeżywalność bakterii *Clostridium perfringens* w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji (uwodnienie 98,97%)



Rys. 7. Przeżywalność bakterii grupy coli w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji (uwodnienie 98,97%)



Rys. 6. Przeżywalność bakterii *Clostridium perfringens* w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji (uwodnienie 98,22%)



Rys. 8. Przeżywalność bakterii grupy coli w zależności od dawki wodorotlenku wapnia i czasu stabilizacji (uwodnienie 98,22%)

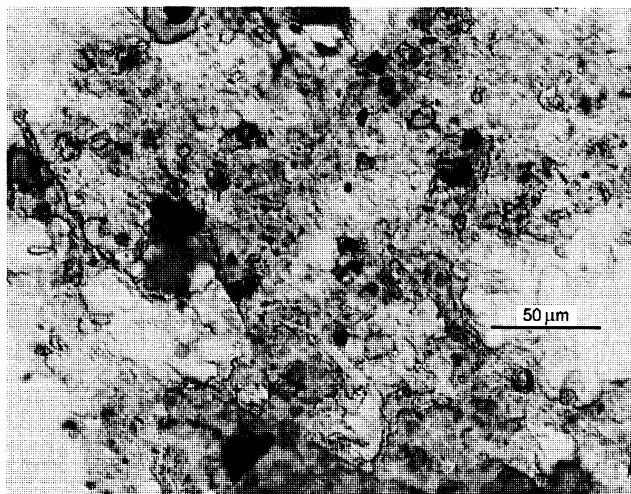
coli przy pH=12,4, a osiągnięto to dopiero po 35 dobach przy pH=11,62 (rys. 7 i 8).

Podsumowując wyniki badań bakteriologicznych można stwierdzić, iż do dezaktywacji bakterii z rodzaju *Salmonella* skuteczne było pH=9, natomiast w wypadku bakterii psychrofilnych, mezofilnych i bakterii z grupy coli początkowe pH musi wynosić około 13, aby je zlikwidować po 1 dobie oraz pomiędzy 12,4+12,7, aby podobny efekt osiągnąć po 5 tygodniach. Z kolei aby uzyskać całkowitą likwidację bakterii przetrwalnikujących *Clostridium perfringens* wymagane było pH=12,6+13,0 przez około 5 tygodni. Jednocześnie zauważono, że w wypadku osadów bardziej uwodnionych, przy tych samych dawkach wodorotlenku wapnia, uzyskano wyższe wartości pH i lepszy efekt odkażenia osadów.

Wykazano, że zastosowanie wodorotlenku wapnia wobec osadów powoduje niszczenie obecnych w nich grzybów mikroskopowych. Grzyby psychrofilne i mezofilne były nieobecne w osadzie o uwodnieniu 98,97% przy pH>11 po czasie 1 doby, a po 35 dobach przy pH>10,7, natomiast w osadzie o uwodnieniu 98,22% grzyby były nieobecne przy pH=11,8 po 1 dobie stabilizacji, a po 36 dobach przy pH=11,04+10,7.

Aspekt parazytologiczny odkażenia osadów oceniono analizując zawartość zdolnych do przeżycia jaj glisty *Ascaris lumbricoides suum*, a także larw *Musca domestica*, *Culex sp.* i *Anopheles sp.* w objętości 100 cm³ osadów. Wyniki badań dla jaj *Ascaris lumbricoides suum* przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Wykazano, że po 24-godz. stabilizacji, zarówno w osadzie o uwodnieniu 98,97% jak i 98,22%, przy pH=13 i pH=12,4 nie stwierdzono zauważalnego zmniejszenia liczby zdolnych do przeżycia jaj glisty. W osadzie lepiej zagęszczonym, przy pH malejącym od 12,4 (po 1 d) do 11,9 (po 35 d) wykazano znaczące zmniejszenie liczby żywych jaj *Ascaris lumbricoides suum* do zaledwie kilku w 100 cm³ (dawka 8,4 gCa(OH)₂/dm³). W osadzie o wyższym uwodnieniu niszczenie jaj *Ascaris lumbricoides suum* przebiegało lepiej, gdyż podobny jak wyżej wynik uzyskano przy pH zmniejszającym się od 12,7 (po 1 d) do 12,4 (po 35 d), przy niższej dawce 6,3 gCa(OH)₂/dm³. Zatem do osiągnięcia ewidentnej destrukcji jaj glisty wymagana jest dawka wodorotlenku wapnia zapewniająca uzyskanie pH na poziomie 12,5+13,0 przez ponad 5 tygodni.



Fot. 1. Osad wtórny przed stabilizacją wodorotlenkiem wapnia

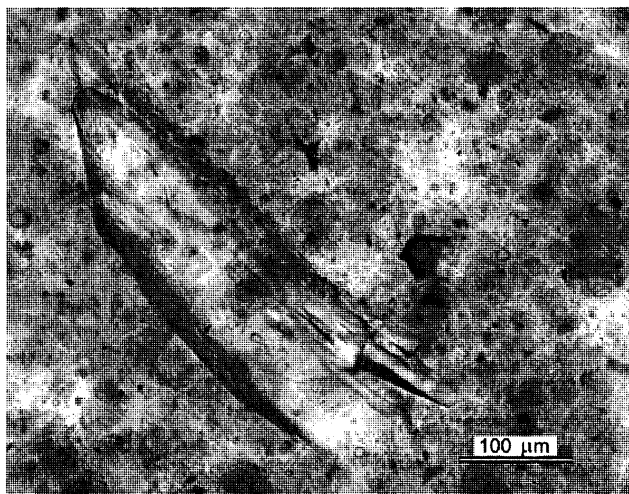
Uzyskane wyniki badań w odniesieniu do larw owadów wykazały, iż czas kontaktu około 1 doby nie gwarantował likwidacji tych organizmów przy $\text{pH}=12,4+13,0$. W tym czasie możliwe było jedynie uzyskanie znaczącego obniżenia liczebności zdolnych do przeżycia larw muchy i komarów z poziomu kilkuset do kilkudziesięciu osobników w 100 cm^3 osadów. Bardzo istotny wpływ, również w tym wypadku, miało wydłużenie czasu procesu alkalizacji, co objawiło się całkowitą likwidacją tych organizmów przy pH zmniejszającym się od 12 do 11,6 (dawka $6,3 \text{ gCa(OH)}_2/\text{dm}^3$) w czasie 35 dób dla osadu lepiej zagęszczonego. Dla osadu bardziej uwodnionego uzyskano likwidację larw analizowanych stawonogów po czasie 35 dób przy pH zmniejszającym się od 13,0 do około 12,6.

Wyniki badań parazytologicznych dowiodły, iż alkalizacja osadów do wartości $\text{pH}=12,5+13,0$ przy czasie trwania ponad 5 tygodni pozwoliła na znaczące obniżenie liczebności jaj glisty *Ascaris lumbricoides suum* oraz całkowite zniszczenie obecnych w osadach larw stawonogów, które są szczególnie uciążliwe w porze wiosenno–letnio–jesiennej. Wydaje się, że wydłużenie czasu stabilizacji o kolejne kilkanaście dób może pozwolić także na całkowitą likwidację zdolnych do przeżycia jaj glisty, co uzyskano w trakcie badań z osadami wstępnymi [11].

Niezależnie od zmian biologicznych, osady wtórne po stabilizacji wodorotlenkiem wapnia uległy również efektywniejszemu i łatwiejszemu odwodnieniu. Jednocześnie filtry otrzymane z osadów po stabilizacji charakteryzowały się malejącą uciążliwością zapachową wraz ze wzrostem dawki wodorotlenku wapnia. Uzyskano również zwiększenie stopnia hydrolitycznego rozkładu materii organicznej osadów i utworzenie bardziej stabilnych, chemicznie nieaktywnych, form ziarnistych w miejsce pierwotnych struktur kłaczkowatych. Osad wtórny przed stabilizacją (fot. 1) miał rozmytą strukturę i był niejednorodny, natomiast osad po stabilizacji wodorotlenkiem wapnia (fot. 2) miał strukturę upłynnioną, znacznie bardziej jednorodną.

Wnioski

◆ Suspensja wodorotlenku wapnia stosowana do alkalizacji osadów wtórnych pozwoliła na likwidację bakterii, grzybów, jaj robaków i larw stawonogów, przy czym każdy z badanych organizmów cechował inny stopień wrażliwości zarówno na pH , jak i czas trwania procesu.



Fot. 2. Osad wtórny po stabilizacji wodorotlenkiem wapnia

◆ Najbardziej wrażliwe na działanie silnie zasadowego środowiska były bakterie z rodzaju *Salmonella*, których nie wykryto już przy wartościach $\text{pH}=8,9+9,0$ po zaledwie 24 godz. stabilizacji. Przy tych wartościach pH nie zauważono obniżenia liczebności bakterii przetrwalnikujących *Clostridium perfringens*, a liczba bakterii mezofilnych, psychrofilnych i bakterii z grupy *coli* uległa obniżeniu odpowiednio z 10^7 do 10^6 oraz z 10^6 do 10^5 . W tych warunkach także grzyby oraz jaja glisty i larwy stawonogów nie uległy dającej się stwierdzić destrukcji. Bakterie psychrofilne, mezofilne oraz bakterie grupy *coli* uległy destrukcji przy $\text{pH}=12,4+12,7$.

◆ Mikroorganizmami, które uległy działaniu wzrastającego pH były grzyby psychro- i mezofilne, które zniszczono przy wartościach $\text{pH}=12+12,5$ po 24 godz. lub po 35 dobach przy $\text{pH}=10,7$. Bakterie przetrwalnikujące *Clostridium perfringens* i jaja glisty *Ascaris lumbricoides suum* były odporne w podobny sposób na działanie silnie zasadowego środowiska. Zauważono, że bakterie *Clostridium perfringens* uległy destrukcji przy początkowym $\text{pH}=12,5+13,0$ i po minimum 35 dobach. Jaja glisty w tych warunkach wymagały do osiągnięcia całkowitej destrukcji czasu dłuższego niż 5 tygodni. Z kolei larwy owadów były odporne na $\text{pH}=12$ przez 24 godz. Wydłużenie czasu kontaktu do kilkudziesięciu dób spowodowało ich całkowitą destrukcję przy końcowej wartości $\text{pH}=11,5+11,7$.

◆ W procesie stabilizacji alkalicznej osadów wtórnych zużycie wodorotlenku wapnia w przeliczeniu na CaO było wielokrotnie niższe w porównaniu do procesu wapnowania osadów. Do uzyskania wysokiego stopnia odkażenia wymagana była dawka wodorotlenku wapnia w formie suspensji od $0,45 \text{ kgCaO/kg}$ przy uwodnieniu osadu 98,22% do $0,80 \text{ kgCaO/kg}$ przy uwodnieniu osadu 98,97% (około $8,4 \text{ kgCaO/m}^3$). Alkalizacja w tym wypadku musi trwać około 35 dób, natomiast do uzyskania podobnych efektów odkażenia w procesie wapnowania osadów wtórnych o uwodnieniu 88+96% zużycie wapna palonego wynosiło $1,8+6,0 \text{ kgCaO/kg}$, czyli około 220 kg/m^3 [9]. Porównując zużycie wapna do uzyskania podobnych efektów stabilizacji i odkażenia osadów, proces alkalizacji przy użyciu suspensji Ca(OH)_2 jest o wiele bardziej oszczędny od procesu wapnowania wapnem palonym. W procesie wapnowania przy użyciu CaO osady były ustabilizowane i odkażone po kilku godzinach trwania procesu [13], a w procesie alkalizacji suspensją wodorotlenku wapnia dopiero po kilkudziesięciu dobach. Produkt uzyskany

w wyniku alkalizacji wodorotlenkiem wapnia zawierał znacznie mniej wapnia, zatem może być bardziej przydatny i wydajniejszy przy rolniczym wykorzystaniu tak ustabilizowanych osadów.

LITERATURA

1. T. MARCINKOWSKI, K. BARTOSZEWSKI, B. KOŁWZAN: Badania i ocena składu bakteriologicznego, mykologicznego i parazytologicznego osadów wstępnych w środowisku silnie alkalicznym. Raporty Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, 2001, seria SPR nr.40, s. 17.
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dziennik Ustaw nr 134, poz. 1140.
3. L. ERIKSEN, P. ANDREASEN, B. ILSOE: Research note. Inactivation of *Ascaris suum* eggs during storage in lime treated sewage sludge. Wat. Res., 1995, Vol. 30, No. 4, pp. 1026–1029.
4. T. MARCINKOWSKI: Decontamination of sewage sludges with quicklime. Waste Management and Research, 1985, No. 3, pp. 55–64.
5. P. G. CHRISTY: Lime pasteurization, an extended evaluation. <http://www.rdptech.com/tech71p.htm>.
6. B. PAULSRUD, K. T. NEDLAND: Strategy for land application of sewage sludge in Norway. Wat. Sci. Tech., 1997, Vol. 36, No. 11, pp. 283–290.
7. P. OCKIER, W. BONCQUET, F. VERCAUTEREN, W. BARTHOLOMEEUSEN: Production, treatment and disposal of sewage sludge in Belgium. European Water Pollution Control, 1997, Vol. 7, No. 2.
8. M. V. BOOST, C. S. POON: The effect of a modified method of lime-stabilisation sewage sludge treatment on enteric pathogens. Environment International, 1998, Vol. 24, No. 7, pp. 783–788.
9. T. MARCINKOWSKI, W. SŁOMKA: Stabilizacja chemiczna osadów z biologicznego oczyszczania ścieków. Aspekt bakteriologiczny i parazytologiczny. Mat. konf. „V Jubileuszowe Forum Gospodarki Odpadami. Techniczno-Ekonomiczno-Organizacyjne Aspekty Gospodarki Odpadami”, PZITS, Pznań–Gniezno 2003.
10. R. KADŁUBOWSKI: Zarys parazytologii lekarskiej. PWRiL, Warszawa 1979.
11. T. MARCINKOWSKI: Badania stabilizacji chemicznej osadów wstępnych; minimalizacja dawki reagentów w aspekcie zmian składu chemicznego. Raporty Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, 1999, seria SPR nr 35, s. 30.
12. M. STROCZYŃSKA-SIKORSKA, T. KŁAPEĆ: Wytyczne metodyczne (mikrobiologiczno-parazytologiczne) do oceny sanitarnej gleby. Instytut Medycyny Wsi, Lublin 1995.
13. D. STRAUCH: Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm. I Mitteilung: Einführung in die seuchenhygienische Problematik. GWF–Wasser/Abwasser, 1980, H. 3.

Marcinkowski, T. Stabilization of Secondary Sludges with Calcium Hydroxide: Effect of the Process on the Extent of Decontamination. Ochrona Środowiska 2003, Vol. 25, No. 2, pp. 49–55.

Abstract: Secondary sludges differing in water content were subjected to alkaline stabilization. The course of the process was analyzed in bacteriological, mycological and parasitological terms. The sludge samples were treated with varying calcium hydroxide doses. Variations in the number of psychrophilic and mesophylic bacteria, as well as coliform bacteria and *Salmonella* were assessed quantitatively and related to the pH level obtained.

The presence of psychrophilic and mesophilic fungi, the number of *Ascaris l. suum*, *Trichocephalus sp.* and *Toxacara sp.* eggs, as well as the number of *Musca domestica*, *Culex sp.* and *Anopheles sp.* larvae, were assessed qualitatively. Two major factors were found to affect the course and the efficiency of sludge stabilization: the rise of the pH to a highly alkaline level and the duration of the stabilization process. The extent of sludge decontamination was noticeably higher after stabilization with calcium hydroxide than after anaerobic or aerobic digestion.

Keywords: Secondary sludge, alkalization, stabilization, bacteria, fungi, parasites.