



The Danger of Pathogenic Organisms in Sewage Sludge and Methods of Their Reduction

Donata KOSICKA-DZIECHCIAREK¹, Agnieszka WOLNA-MARUWKA¹, Jakub MAZURKIEWICZ²

¹ Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań, tel: 61-848-7194, e-mail: donatadz@up.poznan.pl

¹ Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań, tel: 61-848-6724, e-mail: amaruwka@up.poznan.pl

² Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Sanitacji Wsi, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 92A, 60-649 Poznań, tel: 61-846-6590, e-mail: upjama@gmail.com

Abstract

Sewage sludge, which is a by-product of sewage treatment, is troublesome waste. So far its storage has often caused adverse effects, such as odour and other contamination of the natural environment. Communal sludge may be a sanitary hazard due to the presence of pathogenic organisms, which may have considerable influence on the environment, especially on the human and animal health. Depending on the origin of the sludge, the following organisms have been identified: helminths' eggs (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp. and *Toxocara* sp.), bacteria causing gastrointestinal poisonings (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus anthracis*), viruses (enteroviruses, polioviruses) and fungi (especially moulds, e.g. *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Geotrichum*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Verticillium*, *Mortierella*). It is possible to eliminate pathogenic organisms from sewage sludge by means of an appropriate utilisation method. Composting seems to be one of the simplest and most economical methods. The process results in a sanitarily safe product, which can be used as a fertiliser in farming.

Keywords: sewage sludge, pathogenic organisms

Streszczenie

Zagrożenia związane z występowaniem organizmów chorobotwórczych w osadach ściekowych oraz sposoby ich redukcji

Osady ściekowe będące produktem ubocznym procesu oczyszczania ścieków są uciążliwym odpadem, którego dotychczasowe składowanie często przynosiło niepożądane efekty, m.in. nieprzyjemny zapach oraz inne zanieczyszczenia przedostające się do środowiska przyrodniczego. Osady komunalne mogą stanowić zagrożenie sanitarne ze względu na zawartość organizmów patogennych, mogących wywierać znaczny wpływ na środowisko, w szczególności na zdrowie ludzi i zwierząt. W osadach ściekowych, w zależności od pochodzenia wykrywano: jaja helmintów *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. oraz *Toxocara* sp., bakterie powodujące zatrucia przewodu pokarmowego (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus anthracis*), wirusy (enterowirusy, poliowirusy) oraz grzyby, w szczególności pleśniowe do których należy rodzaj *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Geotrichum*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Verticillium*, *Mortierella*. Wyeliminowanie organizmów chorobotwórczych z osadów ściekowych jest możliwe poprzez zastosowanie odpowiedniej metody utylizacji. Jedną z najprostszych, a zarazem najbardziej ekonomicznych wydaje się ich kompostowanie. W trakcie niniejszego procesu uzyskuje się produkt bezpieczny pod względem sanitarnym, dodatkowo możliwy do zagospodarowania w rolnictwie w postaci nawozu.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, organizmy chorobotwórcze

1. Wstęp

Osady ściekowe ze względu na wysoką zawartość substancji organicznej zasiedlane są przez mikroorganizmy tworząc swoistą biocenozę, w skład której wchodzi bakterie, wirusy, grzyby jak również jaja pasożytów. Wśród mikroorganizmów występujących w osadach ściekowych istnieją drobnoustroje patogenne, jak i drobnoustroje saprofityczne pozostające obojętne z sanitarnego punktu widzenia. Organizmy chorobotwórcze stanowią duże zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, pomimo coraz większej świadomości społeczeństwa oraz powszechnie znanych sposobów ich zwalczania. Obecnie obserwuje się wzrost częstotliwości zarażenia organizmami patogennymi, które mają ścisły związek z przemysłem spożywczym. Choroby wywołane, m.in. przez pasożyty jelitowe, do których zaliczamy *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. i *Toxocara* sp., związane są ze zmianami cywilizacyjnymi oraz szeroko rozpowszechnioną turystyką. Według statystyk w Polsce najczęstsze inwazje wywołane są przez *Ascaris lumbricoides* oraz *Trichuris trichura*. Istotą w racjonalnym wykorzystaniu osadów ściekowych jest poznanie problemu związanego z jego higienizacją. Sanitarne właściwości osadów ściekowych charakteryzują się zmiennością, która kształtowana jest przez wiele czynników, do których zdaniem Budzińskiej [1] należy zaliczyć: rodzaj oczyszczalni ścieków, standard życia i stan zdrowotny mieszkańców na określonym terenie oraz metody stosowane podczas obróbki ścieków.

2. Charakterystyka organizmów patogennych

Jednym z najistotniejszych czynników stwarzających zagrożenie sanitarne związane z zastosowaniem osadów ściekowych jest obecność mikroorganizmów chorobotwórczych w osadach ściekowych. Patogenność drobnoustrojów przejawia się ich zdolnościami do wywoływania procesów chorobotwórczych w organizmie żywym i zależy od właściwości mikroorganizmów, od mechanizmów obronnych organizmu gospodarza oraz panujących warunków środowiskowych. Organizmy chorobotwórcze charakteryzują się wirulencją, czyli zjadliwością, poprzez którą należy rozumieć zdolność do wytwarzania szkodliwych enzymów oraz toksyn doprowadzających do uszkodzenia komórek oraz zaburzeń w ich funkcjach fizjologicznych. Kolejną cechą mikroorganizmów chorobotwórczych jest inwazyjność, czyli zdolność do przenikania przez bariery ochronne organizmu oraz rozprzestrzeniania się w nim [2].

Najwyższą zawartością organizmów patogennych cechują się osady miejskie [3], ponieważ zawierają one organizmy patogenne pochodzące z różnych gałęzi przemysłu. Zawartość mikroorganizmów chorobotwórczych decyduje o sposobie dalszego postępowania z tego typu odpadami. Osady ściekowe, które nie uległy procesowi higienizacji stwarzają poważne zagrożenie poprzez obecne w nim bakterie, wirusy oraz jaja pasożytów. Zagrożenia te dotyczą osób transportujących osady ściekowe, rolników, a także konsumentów owoców roślin nawożonych osadami [4]. Obecność organizmów patogennych w osadach ściekowych jest niebezpieczna ze względu na stwarzanie zagrożenia epidemiologicznego, możliwość wywołania alergii, a także poprzez toksyczny lub immunotoksyczny wpływ na środowisko, zwierzęta oraz człowieka [5]. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 roku [6] łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych (helminatów) *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. w 1 kg suchej masy osadów przeznaczonych do stosowania w rolnictwie wynosi 0, do rekultywacji terenów nie przekracza 300, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu nie jest większa niż 300 oraz do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi i produkcji pasz nie jest większa niż 300. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 [6] ściśle określa, że w próbce reprezentatywnej (100g) osadów stosowanych do rekultywacji gruntów na cele rolne nie mogą występować bakterie z rodzaju *Salmonella*.

2.1. Bakterie

Najczęściej izolowanymi podczas badań laboratoryjnych osadów ściekowych rodzajami i gatunkami bakterii są: *Escherichia* sp. (pałeczka okrężnicy), *Shigella* sp., *Salmonella* sp., *Pseudomonas aeruginosa* (pałeczka ropy błękitnej), *Bacillus anthracis* (laseczka wąglika), *Mycobacterium tuberculosis* (prątek gruźlicy), *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens* (laseczka zgorzeli gazowej), *Vibrio cholerae* (przecinkowiec cholery), *Proteus vulgaris* (odmieniec pospolity), *Streptococcus pyogenes* (paciorkowiec ropny) (tab. 2.1) [7] i [8].

W skład biocenozy osadów ściekowych tworzonej przez mikroflorę i mikrofaunę wchodzi mikroorganizmy patogenne, które są groźne dla człowieka oraz mikroorganizmy saprofityczne [10]. Podczas stosowania osadów ściekowych największą uwagę należy zwrócić na ochronę gleb oraz bezpieczeństwo kompostowanych osadów pod względem sanitarno-epidemiologicznym [11].

Tabela 2.1. Bakterie występujące w osadach ściekowych i wywoływane przez nie choroby [9]

Gatunek organizmu	Wywoływana choroba
<i>Escherichia coli</i>	zapalenie otrzewnej, biegunka, ropne zapalenie nerek
<i>Salmonella typhi</i>	dur brzuszny
<i>Shigella dysenteriae</i>	biegunka
<i>Clostridium perfringens</i>	zapalenie jelit
<i>Vibrio cholerae</i>	cholera
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	gruźlica

Jednymi z najbardziej rozpowszechnionych bakterii w środowisku są pałeczki *Escherichia coli* należące do rodziny *Enterobacteriaceae* [8]. Środowiskiem występowania wyżej wymienionych bakterii jest jelito człowieka oraz bydła i innych przeżuwaczy. Większość ze szczepów *E.coli* nie jest szkodliwe, a w jelicie pełni funkcje ochronną, zapobiegając kolonizacji przez obce drobnoustroje. Według Smyła [12] wyróżnić można pięć głównych szczepów *E.coli*, które przenoszone przez wodę lub żywność mogą powodować biegunki. W przypadku człowieka pałeczka okrężnicy może przyczynić się do stanów zapalnych dróg moczowych, dróg żółciowych, posocznicy, zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych. Kolejną cechą wskazującą na szkodliwość omawianych bakterii jest zdolność do wytwarzania toksyn działających, m.in. na układ nerwowy, błonę śluzową przewodu pokarmowego, a także może powodować hemolizę [8].

Kolejnym rodzajem bakterii należącej do rodziny *Enterobacteriaceae* jest *Salmonella* sp., która do gleby, warzyw, trawy przedostaje się m.in. poprzez rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych. Osady ściekowe, w których stwierdzono obecność bakterii *Salmonella* nie mogą być wykorzystywane na cele rolnicze ze względu na zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt [13]. *Salmonella* sp. bytuje głównie w drogach żółciowych, woreczku żółciowym, nerkach oraz jelicie cienkim i wydalana jest z ekskrementami [8]. Omawiane pałeczki mogą przyczynić się do ostrych chorób zakaźnych, do których należy zaliczyć: dur brzuszny (wywołany przez *Salmonella typhi*), dur rzekomy (wywołany przez *Salmonella paratyphi*), a także zatrucia pokarmowe typu zakaźnego: salmonellozy [12]. Do organizmu człowieka *Salmonella* sp. trafia poprzez spożycie skażonego biologicznie pokarmu lub zostaje przeniesiona przez brudne dłonie do układu pokarmowego [14]. Bakterie z rodzaju *Salmonella* są jednym z podstawowych parametrów określających przydatność osadów ściekowych do dalszego wykorzystania. Parametry te zostały określone w aktach prawnych oraz normach sanitarnych ściśle związanych z gospodarką odpadową. Obecność pałeczek *Salmonella* w osadzie ściekowym, który nie został poddany procesowi higienizacji, prowadzi do dyskwalifikacji osadów [15]. Z badań przeprowadzonych przez Józwiakowskiego i współautorów [16] wynika, że zastosowanie procesu odwadniania i unieszkodliwiania osadów ściekowych z oczyszczalni przydomowej pozwala na wyeliminowanie bakterii z rodzaju *Salmonella*, a także helmintów (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp.). Wyżej wymienieni autorzy wykazali brak obecności bakterii z rodzaju *Salmonella* w osadach ściekowych, a także jaj pasożytów jelitowych, co przyczyniło się do dalszego wykorzystania osadów ściekowych do celów rolniczych oraz rekultywacji gruntów.

Do bakterii chorobotwórczych występujących w omawianych odpadach zaliczyć należy także bakterie *Clostridium perfringens*, które można podzielić na szczepy wydzielające toksyny typu A, B, C, D, E, F zdolne do wytwarzania czterech toksyn, do których należy zaliczyć: toksynę alfa (α), beta (β), epsilon (ϵ) i jota (ι) [17, 18, 19, 20, 21]. Wyżej wspomniane bakterie są oportunistyczne w stosunku do organizmu człowieka, co oznacza, że chorobotwórcze stają się w momencie kontaktu człowieka z kałem, paszą lub osadami ściekowymi [18]. Adak i współautorzy [22] wykazują, że *Clostridium* sp. poprzez wytwarzanie endospor (przetrwalników) przyczynia się do przetrwania w niekorzystnych warunkach środowiska (np. w wysokiej temperaturze). *Clostridium perfringens* występuje powszechnie w przyrodzie oraz układzie pokarmowym zwierząt, gdzie przyczynia się do rozkładu błonnika [23,8]. Szczególnie niebezpieczną dla człowieka jest bakteria *Clostridium perfringens* typu A, ponieważ stanowi czynnik etiologiczny zgorzeli gazowej u zwierząt i ludzi. Wskutek zakażenia rany wyżej wspomnianym drobnoustrojem dochodzi do zniszczenia tkanki, jej niedokrwienia i niedotlenienia, co objawia się poprzez pojawienie silnego i twardego obrzęku wokół rany spowodowanego przez toksynę kappę (kolagenazę) wydzielaną przez *Clostridium perfringens* [24]. Obecność laseczki zgorzeli gazowej w wodzie wskazuje na zanieczyszczenie wody fekaliami. Może to zostać wykryte nawet po dłuższym czasie od momentu zanieczyszczenia odchodami, gdyż omawiana bakteria wytwarza przetrwalniki [12]. Występowanie laseczki *Clostridium perfringens* w osadach ściekowych [25] może świadczyć o występowaniu również innych mikroorganizmów chorobotwórczych. Mikroorganizmy chorobotwórcze bytujące w osadach ściekowych mogą

się przyczyniać, poprzez nawożenie łąk oraz pól uprawnych do zakażenia płodów rolnych, oraz do zakażeń ludzi i zwierząt.

Pamiętać należy o tym, że niektóre mikroorganizmy chorobotwórcze cechują się wysoką odpornością na działanie czynników fizycznych i chemicznych.

Przykładem bakterii chorobotwórczej, która potrafi przeżyć w niekorzystnych warunkach środowiska poprzez produkcję endospor jest *Bacillus anthracis*, czyli laseczka wąglika [26]. Przetrwalniki bakterii należących do rodzaju *Bacillus* wykazują odporność na ogrzewanie, działanie promieniowania jonizującego, promieniowania UV, wysychanie oraz działanie środków dezynfekujących. Kontrolowanie liczebności bakterii *Bacillus* sp. jest szczególnie ważne podczas jednostkowej obróbki termicznej ze względu na zdolność wytwarzania endospor, a następnie ich kiełkowania i rozwoju w komórki wegetatywne [27], dodatkowo mikroorganizmy należące do rodzaju *Bacillus* wykazują możliwość występowania w środowisku o dużej rozpiętości temperatury, zasolenia oraz pH [28].

2.2. Helminty ATT (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp., oraz *Toxocara* sp.)

Do pasożytów wewnętrznych należących do nicieni zaliczyć należy *Ascaris lumbricoides* (glista ludzka), która występuje w przewodzie pokarmowym człowieka, a jej głównym źródłem pokarmu jest zniszczony nabłonek ściany jelita oraz częściowo strawiony pokarm żywiciela (tab. 2.2). Chorobą wywoływaną przez *Ascaris lumbricoides* jest glistnica. Dojrzałe samice glisty ludzkiej mierzą 15-35 cm, a ich szerokość wynosi 0,2-0,4 cm. W przypadku *Ascaris lumbricoides* zauważalny jest dymorfizm płciowy [29]. Samica glisty ludzkiej może wytwarzać do 200 tysięcy jaj na dobę, co wiąże się ze zużywaniem dużej ilości energii na reprodukcję. Jej jaja przedostają się do gleby z fekaliami w przypadku nieodpowiednich warunków sanitarnych, gdzie są w stanie przeżyć 2-5 lat. Do zarażenia *Ascaris lumbricoides* dochodzi poprzez spożycie zanieczyszczonego pokarmu. Jaja glisty ludzkiej po wnikięciu do przewodu pokarmowego przechodzą w larwy, które przenikając przez ścianę jelita dostają się do układu krwionośnego, następnie wraz z krwią trafiają do wątroby, a dalej do serca i płuc, gdzie w pęcherzykach przechodzą kolejne linienie. Po przedostaniu się do dróg oddechowych przyczyniają się do podrażnień gardła i krtani gdzie dochodzi do ich połknięcia. Po ponownym przedostaniu się do przewodu pokarmowego przechodzą ostateczne linienie. Dojrzałość płciową osiągają w jelicie cienkim człowieka [30]. Do zarażenia pasożytami jelitowymi dochodzi nie tylko poprzez spożycie owoców z gleby nawożonej niez higienizowanymi osadami ściekowymi, ale także poprzez spożycie niedomytych oraz pochodzących z niewiadomego źródła owoców i warzyw, niestaranne przygotowanie jedzenia, brak higieny osobistej, picie nieprzegotowanej wody, a także poprzez kontakt z nieodrobaczonym zwierzęciem domowym [31].

Objawy choroby związane są ściśle z okresem inwazji i mogą przybierać różnorodną postać. Do najczęściej występujących objawów można zaliczyć: zawroty głowy, bóle brzucha, obrzęk twarzy, kaszel, ogólne osłabienie, wymioty, biegunkę, nadmierną pobudliwość oraz alergiczne objawy na skórze [29].

Kolejnym kosmopolitycznym nicieniem występującym w Polsce jest *Trichuris* sp., którego częstotliwość zarażenia ludzi co roku na obszarach wiejskich wynosi do 90% [31]. Samica *Trichuris* sp. (włosogłówka) składa jaja w ilości 1000-6000 sztuk dziennie. Jaja na zewnątrz organizmu wydalane są z kałem, gdzie przechodzą pełen rozwój do stadium inwazyjnego. Do zarażenia włosogłówką dochodzi poprzez spożycie pokarmu zanieczyszczonego jajami [32]. Długość okresu dojrzewania włosogłówki zależy głównie od temperatury, wilgotności oraz rodzaju gleby z jakiej pochodzą i wynosi około 3-tygodnie [33]. Choroba wywołana przez wyżej wspomnianego pasożyta nazywa się włosogłówczyca i występuje ona na całym świecie, jednak najczęściej jest spotykana w krajach tropikalnych i ciepłych. Włosogłówczyca objawia się krwawą biegunką, śluzowatym stolcem, odwodnieniem, osłabieniem, bólem brzucha oraz nerwowością [30].

Powszechnie w osadach ściekowych występujący jest również pasożyt *Toxocara* sp. wywołujący chorobę zwaną toksokarozą spowodowaną inwazją glisty psiej (*Toxocara canis*) lub glisty kociej (*Toxocara cati*). Larwy po przypadkowym przedostaniu się do organizmu żywiciela przenikają do tkanek oraz narządów wewnętrznych powodując uszkodzenia będące przyczyną objawów chorobowych [34]. Samica nicienia z rodzaju *Toxocara* sp., która jest nieco większa od samca jest w stanie złożyć do 200 tys. jaj dziennie [35]. Dojrzałe nicienie z rodzaju *Toxocara* sp. mierzą 6-10 cm i żyją w przewodzie pokarmowym psa lub kota. Jaja wyżej wspomnianego pasożyta jelitowego przedostają się do organizmu człowieka poprzez spożycie zanieczyszczonej wody pitnej lub spożycie warzyw skażonych zanieczyszczonej glebą, a także może zostać przeniesiona do ust na zabrudzonych rękach [34]. Do objawów chorobowych wywołanych przez nicienie z rodzaju *Toxocara* zaliczyć należy: bóle głowy, drgawki, zmiany zachowania, zaćma, zez, ślepotę i pogorszone widzenie, powiększenie węzłów chłonnych, wątroby, śledziony oraz niedokrwistość. Jaja *Toxocara* sp. wykazują dużą odporność na działanie czynników środowiska zewnętrznego oraz środki dezynfekcyjne [36].

Ostatnio interesujące badania opublikowała grupa badaczy zajmująca się oceną stanu sanitarnego oczyszczalni ścieków w Iranie [37]. Ich badania miały na celu wykazanie w ściekach obecności jaj robaków i oocyst pierwotniaków pochodzenia ludzkiego i zwierzęcego. Dodatkowo służyły ocenie sprawności usuwania pasożytów ze ścieków pochodzących z oczyszczalni miejskich i rzeźni w prowincji Teheran w Iranie. Wyniki bazowały na 108 próbkach pobranych z pięciu oczyszczalni ścieków komunalnych i bytowych (małych) w ciągu roku.

Tabela 2.2. Pasożyty występujące w osadach ściekowych i wywoływane przez nie choroby [3]

Gatunek organizmu	Choroby
Pierwotniaki	
<i>Balantidium coli</i>	balantidioza
<i>Entamoeba histolytica</i>	pełzakowica jelitowa
<i>Giardia lamblia</i>	lambliaza
Robaki pasożytnicze:	
Nicienie	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	askarydoza ludzka
<i>Ancylostoma douduenale</i>	ankylostomatoza
<i>Nacator americanus</i>	ankylostomatoza
<i>Enterobius vermicularis</i>	owsica
<i>Strongyloides stercoralis</i>	węgorzyca
<i>Toxocara</i>	glista psia lub kocia
<i>Trichuris trichura</i>	nieżyt przewodu pokarmowego
Tasiemce	
<i>Taenia solium</i>	węgorzyca mięśni
<i>Taeniarhynchus saginatus</i>	tasiemczyca
<i>Hymenolepsis nana</i>	hymenolopidoza
<i>Echinococcus saginatus</i>	bąblownica
<i>Diphyllobothrium latum</i>	difilobotrioza
Przywry	
<i>Schistosoma haematobium</i>	bilharzioza
<i>Opisthorchis</i>	opistorchidoza
<i>Dicrocoelium</i>	schorzenie dróg żółciowych
<i>Paragonimus westermani</i>	paragonimoza
<i>Fastiola hepatica</i>	motylca wątrobowa
<i>Clonorchis</i>	opistorchidoza
<i>Fasciolopsis</i>	fascjolopsidoza

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że skuteczność usuwania jaj nicieni i oocyst pierwotniaków w oczyszczalniach ścieków bytowych (małych) jest nieskuteczna. Zaobserwowano ponadto, że liczba jaj i oocyt była na alarmująco wysokim poziomie.

Stwierdzono, że odprowadzanie tak zanieczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych i wykorzystanie ich do działań nawadniających może dodatkowo zwiększyć ryzyko zakażenia człowieka tymi chorobotwórczymi pasożytami, poprzez spożycie surowych owoców i warzyw.

Autorzy niniejszych badań podkreślają znaczenie parazytologicznych kontroli ścieków z oczyszczalni miejskich oraz potrzebę regulacji dopuszczalnej liczebności oocyst pierwotniaków, w celu poddania ich recyklingowi w miastach do celów publicznych, dla przemysłu lub do nawadniania roślin.

Podsumowując można uznać, że zarówno ścieki, a także osady pochodzące z oczyszczalni ścieków bytowych, jak i komunalnych powinny być skrupulatnie kontrolowane by ograniczyć zagrożenie ze strony chorobotwórczych pasożytów jelitowych.

2.3. Wirusy

Do kolejnej grupy czynników zakaźnych zaliczyć należy wirusy (tab. 2.3), a w szczególności grupę enterowirusów, spośród których najgroźniejsze są poliwirusy wywołujące chorobę Heinego-Medina, przyczyniającą się do trwałego kalectwa [38].

Tabela 2.3. Wirusy jelitowe najczęściej występujące w ściekach i osadach [3]

Grupa wirusów	Choroby
Poliowirusy	paraliż dziecięcy, zapalenie opon mózgowych
Wirusy <i>Coxsackie</i> grupy A	wady serca, choroba dróg oddechowych
Wirusy <i>Coxsackie</i> grupy B	zapalenie opon mózgowych, wrodzone wady serca
Echowirusy	wysypka, biegunka
Adenowirusy	infekcje oczu, choroby dróg oddechowych
Reowirusy	gorączki reowirusowi
Rotawirusy	wymioty, biegunka
Astrowirusy	biegunka u dzieci
Kaliciwirusy	wymioty, biegunka
Koronawirusy	pospolite przeziębienie

Do głównych źródeł zagrożenia poliowirusem należy zaliczyć ekskrementy chorych oraz nosicieli. Poliowirusy w środowisku glebowym mogą przeżyć około 3 miesiące. Do enterowirusów zaliczyć należy także wirusy *Coxsackie* i *Echowirusy* przyczyniające się do zapalenia mięśnia sercowego, mięśni, mózgu, zakażeń jelitowych, a także chorób gorączkowych. Cechą charakterystyczną enterowirusów jest wysoka odporność na działanie środków dezynfekcyjnych [3], a także długa zdolność infekcyjna w środowisku. Ponadto do wirusów występujących w osadach ściekowych należy zaliczyć rotawirusy, wywołujące żołądkowo-jelitowe stany zapalne, adenowirusy przyczyniające się do nieżyty nosa i gardła, a także wirus HIV powodujący zespół nabytego braku odporności, jak również wirus HCV przyczyniający się do zapalenia wątroby typu C [39]. Brak wzmianki w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 na temat wirusów może być spowodowany brakiem doniesień na temat ich przeżywania w osadach ściekowych [6]. Określenie ilościowe wirusów w ściekach i osadach, a także ich rozpoznanie stwarza trudności, które są bezpośrednio związane z ich izolowaniem oraz oznaczeniem. Obniżenie ilości wirusów w osadach ściekowych jest możliwe poprzez zastosowanie membran o średniej wielkości porów rzędu 0,2µm. Zdaniem Michałkiewicza i współautorów [5] usuwania wirusów ze ścieków można dokonać także przez ozonowanie.

2.4. Grzyby mikroskopowe

Do szkodliwych czynników biologicznych występujących w osadach ściekowych należy zaliczyć także grzyby, w szczególności pleśniowe, które przyczyniają się do szeregu chorób, do których należy zaliczyć: schorzenia układu oddechowego, mikotoksykozy, dermatozy skórne, a także zatrucia związkami lotnymi. Oprócz wyżej wymienionych chorób grzyby również przyczyniają się do alergicznego nieżyty nosa, nieżytów przewodu pokarmowego, zapalenia spojówek i astmy [40]. Najczęściej izolowanymi grzybami z powietrza na terenie oczyszczalni są gatunki z rodzaju *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Candida* sp., *Alternaria* spp., *Cryptococcus* sp., *Geotrichum* sp., *Cladosporium* sp., oraz *Scopurialopsis brevicaulis* [39]. Grzyby stanowiące barierę w rolniczym wykorzystaniu osadów ściekowych należą do tzw. dermatofitów, czyli wywołują w przypadku człowieka zakażenia włosów, paznokci oraz skóry [38]. Wyizolowane z osadów ściekowych gatunki dermatofitów są grzybami patogennymi, a powodowane przez nie schorzenia dotyczące skóry są bardzo powszechne w związku z łatwością przenoszenia z człowieka na człowieka [41]. Osady ściekowe dla grzybów stanowią bardzo dobre środowisko bytowania ze względu na występowanie dużej ilości składników odżywczych niezbędnych dla ich prawidłowego wzrostu [42]. Na podstawie literatury można stwierdzić, że najczęściej występującymi grzybami w osadach ściekowych są rodzaje *Penicillium*, *Verticillium*, *Mortierella*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Geotrichum* oraz *Trichoderma* (znany antagonistą wielu patogenów roślinnych) [41, 42, 43]. Grzyby z rodzaju *Aspergillus* należące do grzybów saprofitycznych przejawiają zdolność do wytwarzania aflatoksyn oraz ochratoksyny (*Aspergillus ochraceus*), trichotecenów, a także zearalenonu powodując choroby zwane mikotoksykozami [44]. Grzyby, które naturalnie występują w osadach ściekowych przyczyniają się do degradacji związków organicznych poprzez wytwarzanie swoistych produktów metabolizmu - enzymów [45]. Procesy enzymatyczne według wyżej wymienionych autorów w technologii oczyszczania ścieków umożliwiają unieszkodliwianie materiałów odpadowych w sposób niezagrażający środowisku.

3. Czynniki fizyczne i chemiczne przyczyniające się do zmian liczebności lub redukcji mikroorganizmów patogennych w osadach ściekowych

Higienizacja osadów ściekowych za pomocą metod fizycznych i chemicznych jest procesem, podczas którego zniszczeniu ulegają drobnoustroje, w szczególności chorobotwórcze. W ściekach przeznaczonych do oczyszczania znajdują się niebezpieczne patogenne wirusy, bakterie, grzyby oraz różne postacie niebezpiecznych dla zdrowia robaków pasożytniczych [5].

Obecność organizmów patogennych w osadach ściekowych jest jednym z najistotniejszych elementów, które mogą stworzyć zagrożenie sanitarne podczas dalszego wykorzystania osadów. Z punktu widzenia sanitarno-higienicznego istnieje konieczność znajomości czasu przeżywalności mikroorganizmów chorobotwórczych (tab. 3.1), a zatem badania biologicznych skażeń osadów stały się istotnym i ważnym elementem ochrony środowiska [1].

Tabela 3.1. Czas przeżywalności organizmów patogennych w glebie i na powierzchni roślin [46]

Organizmy patogene	Gleba		Rośliny	
	Czas przeżycia organizmu			
	maksymalny	przeciętny	maksymalny	przeciętny
Bakterie	1 rok	2 miesiące	6 miesięcy	1 miesiąc
Wirusy	1 rok	3 miesiące	2 miesiące	1 miesiąc
Cysty pierwotniaków	10 dni	2 dni	5 dni	2 dni
Jaja helmintów	7 lat	2 lata	5 miesięcy	1 miesiąc

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska wykazuje, że czas przeżywalności organizmów patogennych w glebie szacowany jest na dwa miesiące, natomiast maksymalny czas to około 1 roku [46]. W odniesieniu do roślin czas przeżywalności organizmów patogennych skraca się o połowę. Podstawowym wskaźnikiem sanitarnym stosowanym do oceny jakości osadów ściekowych jest zawartość jaj pasożytów jelitowych ze względu na ich długi okres przeżywalności, który w glebie może wynosić nawet 7 lat (zachowując swoją inwazyjność). Klasyczne metody oczyszczania ścieków pozwalają na usunięcie około 99% bakterii chorobotwórczych. Jednak pomimo tak wysokiej efektywności w osadach ściekowych nadal znajdować się mogą wskaźnikowe grupy bakterii coli [5]. Efektywność usuwania bakterii ze ścieków zamieszczona została w tabeli 3.2. Za najmniej efektywne uznano procesy mechaniczne (kraty rzadkie, kraty gęste, piaskownik, sedimentacja), natomiast najwyższą efektywnością charakteryzują się procesy chemiczne i biologiczne [47].

Tabela 3.2. Usuwanie i unieszkodliwianie mikroorganizmów w procesach oczyszczania ścieków [47]

Proces	Efektywność usuwania mikroorganizmów (%)
Kraty rzadkie	0-5
Kraty gęste	10-20
Piaskownik	10-25
Sedimentacja	25-75
Chemiczne strącanie	40-80
Złoża biologiczne	90-95
Osad czynny	90-98
Dezynfekcja chlorem oczyszczonych ścieków	98-99,999

Niektórzy badacze wykazują [5], że dezynfekcje właściwą prowadzoną podczas klasycznej dezynfekcji ścieków można podzielić na dwie podstawowe metody: metodę fizyczną oraz metodę chemiczną, która polega na dawkowaniu związków utleniających (tab. 3.3).

Niektóre mikroorganizmy chorobotwórcze cechują się wysoką odpornością na działanie czynników fizycznych i chemicznych. Przykładem takiej bakterii jest gatunek *Bacillus anthracis* (laseczka wąglika), mogący przeżyć w środowisku w niesprzyjających warunkach nawet kilka lat [26]. Przetrwalniki bakterii należących do rodzaju *Bacillus* charakteryzują się odpornością na ogrzewanie, działanie promieniowania jonizującego, promieniowania UV, wysychanie, działanie środków dezynfekujących itp. [28]. Również szeroki zakres tolerancji temperaturowej (8-48°C) przyczynia się do rozwoju patogennych szczepów *E. coli* [29]. Wyżej wymienione mikroorganizmy przeżywają w środowisku silnie kwaśnym o pH 2,5, a ich wzrost i rozwój następuje przy pH 4,0. Bakterie z

rodzaju *Salmonella* natomiast poza organizmem człowieka nie mają zdolności do rozmnażania się, jednak mogą przetrwać kilka lat w zakażonych produktach żywnościowych, w wodzie natomiast do kilku miesięcy. *Salmonella* sp. wykazuje wrażliwość na działanie promieni β i γ , a także działanie środków dezynfekujących stosowanych w przemyśle, do których należy zaliczyć: preparaty chloru i jodoformu, a także czwartorzędowe zasady amidowe [30]. Z badań przeprowadzonych przez Wolną-Marukę i współautorów [48] wynika, że *Salmonella* sp. obecna w osadach ściekowych, po wymieszaniu ze słomą w bioreaktorze ginie w temperaturze 50°C po upływie 48-56 h kompostowania. Natomiast laseczki *Clostridium perfringens* wykazują odporność na działanie wysokich temperatur. Poprzez wytwarzanie przetrwalników nie wykazują zmniejszenia liczebności podczas fazy termofilnej procesu kompostowania [49].

Tabela 3.3. Metody dezynfekcji osadów ściekowych [5]

Metody fizyczne	Metody chemiczne
pasteryzacja	związki z grupy chlorowców: chlor, podchloryn sodowy, wapno chlorowane, podchloryn wapniowy, dwutlenek chloru, wodorotlenek wapnia, tlenek wapnia
promieniowanie UV, promieniowanie mikrofalowe	
filtracja membranowa	
termiczne suszenie	
promieniowanie jonizujące (dezynfekcja radiacyjna)	ozon
ultradźwięki	kwask nadoctowy

Z badań przeprowadzonych przez Malej [50] wynika, że podczas kompostowania przyzwoitego i tunelowego przez okres siedmiu tygodni w temperaturze 60°C następuje pełna likwidacja organizmów chorobotwórczych, a ponadto powstaje produkt końcowy o korzystnej strukturze i właściwościach nawozowych. W ostatnich latach w celu przyspieszenia biodegradacji odpadów organicznych podczas procesu kompostowania stosuje się odpowiednio wyselekcjonowane szczepy bakteryjne tzw. preparaty biologiczne [51].

4. Podsumowanie

W ostatnich latach zaobserwowano wzrost liczby osób zarażonych organizmami patogennymi, których źródłem jest przemysł spożywczy, niezachowanie higieny, a także rozpowszechniona na dużą skalę turystyka. Specyficznym źródłem zagrożenia są osady ściekowe wykorzystywane w rolnictwie, które nieodpowiednio przygotowane mogą zawierać patogenne organizmy chorobotwórcze mogące powodować bezpośrednio zagrożenie dla środowiska, a także dla ludzi i zwierząt. Obecność tego typu mikroorganizmów w produktach przeznaczonych do spożycia może przyczynić się do chorób układów: pokarmowego, oddechowego, krwionośnego oraz licznych chorób narządu wzroku, a także może prowadzić do zejść śmiertelnych. Jedynie rygorystyczne przestrzeganie wymogów sanitarnych związanych z organizmami chorobotwórczymi w osadach ściekowych pozwoli na zmniejszenie zagrożenia epidemiologicznego ze strony organizmów patogennych. Z licznych badań wynika, że pełna likwidacja organizmów chorobotwórczych obecnych w osadach ściekowych następuje podczas procesu kompostowania. Niniejszy proces z jednej strony pozwala na zagospodarowanie uciążliwego odpadu, jakimi są osady ściekowe, a z drugiej strony umożliwia otrzymanie produktu o dużej użyteczności ekologicznej. Wykorzystanie jednak tej biologicznej i aktywnej formy ochrony przyrody - produkt końcowy może być wykorzystany w rolnictwie - niesie ze sobą konieczność spełnienia kilku wcześniej wymienionych warunków.

Uwzględniając szkodliwość bakterii chorobotwórczych, grzybów, wirusów oraz jaj pasożytów jelitowych należy opracować efektywny i jednoznacznie sformułowany (wytyczne) sposób higienizacji osadów ściekowych przed wprowadzeniem ich do środowiska, co przyczyni się do zwiększenia ich wykorzystania w rolnictwie.

Literatura

1. Budzińska K., 2001. Bakteriologiczna ocena osadów surowych i składowanych na poletkach osadowych z oczyszczalni ścieków bytowych. *Ekologia i Technika*. 9(2):56-63
2. Zmysłowska I., Filipkowska Z., Gołaś I., Korzekwa K., Korzeniewska E., Lewandowska D., 2010. *Mikrobiologia ogólna i środowiskowa. Teoria i ćwiczenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. s:147-152
3. Bień J.B., Wystalska K., 2011. *Osady ściekowe teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa. s:27-36

4. Kocwa-Haluch R., 2002. Wirusologia w inżynierii środowiska. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Kraków. s:72-76
5. Michałkiewicz M., Jeż – Walkowiak J., Dymaczewski Z., Sozański M.M., 2011. Dezynfekcja ścieków. Inżynieria Ekologiczna. 24:38-51
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015. „W sprawie komunalnych osadów ściekowych” Dz. U. Nr. 137 poz. 924 (dostęp z dn. 16.02.2015)
7. Berggren I., Albiñ A., Johansson M., 2004. The effect of the temperature on the survival of pathogenic bacteria and *Ascaris suum* in stored sewage sludge. [W:] Sustainable organic waste management for environmental protection and food safety. Vol 2. Scientific paper RAMIRAN conference, Murcia, Spain 6-9, s:10
8. Zamoyska J., 2007. Organizmy patogenne w osadach ściekowych. Zesz. Nauk. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Oddział w Rzeszowie, 9:91-98
9. Krzywy E., 1999. Przyrodnicze zagospodarowanie ścieków i osadów. Wydawnictwo Akademii Rolniczej Szczecin.
10. Estrada I.B., Aller A., Aller F., Gomez X., Moran A., 2004. The survival of *Escherichia coli* faecal coliforms and enterobacteriaceae in general in soil treated with sludge from wastewater treatment plants. Bioresource Technology. s:93
11. Manczarski P., 2007. Kompostowanie odpadów komunalnych. Referat na Forum Technologii Ochrony Środowiska – POLEKO, Poznań 21.11.2007
12. Smyła A., 2005. Zagrożenia bakteryjne wód powierzchniowych. VII Ogólnopolska Sesja Popularnonaukowa Środowisko a zdrowie, Częstochowa. s:1-6
13. Kłapeć T., Cholewa A., 2012. Zagrożenia dla zdrowia związane ze stosowaniem nawozów organicznych i organiczno-mineralnych. Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu. 18(2):131-136
14. Gołofit-Szymczak M., Zapór L., 2007. Zagrożenia biologiczne w oczyszczalniach ścieków komunalnych. Bezpieczeństwo Pracy. 3:26-28
15. Budzińska K., 2004. Inaktywacja pałeczek *Salmonella sentenberg* W₇₇₅ w procesie kompostowania osadów ściekowych. Zeszyty Naukowe, Wrocław. 505:61-67
16. Józwiakowski K., Marzec M., Pytka A., Gizińska M., 2013. Zastosowanie innowacyjnej instalacji do odwadniania i unieszkodliwiania osadów ściekowych z oczyszczalni przydomowych. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. 3:129-145
17. Harrison B., Raju D., Garmory H.S., Brett M.M., Titball R.W., Sarker M.R., 2005. Molecular characterization of *Clostridium perfringens* isolates from humans with sporadic diarrhea: evidence for transcriptional regulation of the beta2-toxin-encoding gene. Appl. Environ. Microbiol. 71:8362–8370
18. Li J., Sayeed S., McClane B.A., 2007. Prevalence of enterotoxigenic *Clostridium perfringens* isolates in Pittsburgh (Pennsylvania) area soils and home kitchens. Appl. Environ. Microbiol. 73:7218–7224
19. Miyamoto K., Fisher D.J., Li J., Sayeed S., Akimoto S., McClane B.A., 2006. Complete sequencing and diversity analysis of the enterotoxin-encoding plasmids in *Clostridium perfringens* type A nonfood-borne human gastrointestinal disease isolates. J. Bacteriol. 188:1585–1598
20. Myers G..S.A., Rasko D.A., Cheung J.K., 2006. Skewed genomic variability in strains of the toxigenic bacterial pathogen, *Clostridium perfringens*. Genome Res. 16:1031–1040
21. Petit L., Gibert M., PopoQ M.R., 1999. *Clostridium perfringens*: toxinotype and genotype. Trends Microbiol. 7:104–110
22. Adak G. K., Long S. M., O'Brien S. J., 2002. Intestinal infection: Trends in indigenous foodborne disease and deaths, England and Wales: 1999 to 2000. 51:832-841
23. Sawicka A., Wiegand E., Kasprzyk H., 2000. Uwagi o przemianach mikrobiologicznych w procesie wytwarzania kompostu humusowego. [W:] Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem

- ochrony środowiska i przepisów UE. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa, IBMiR, Warszawa. s:217-226
24. Wojdat E., Kwiatek K., Zdrojewski H., Krupa L., 2005. Zachorowanie na zgorzel gazową – opis diagnozowanie przypadku. *Przegląd Epidemiologiczny*. 59:859-863
 25. Bustamante M.A., Moral R., Paredes C., Vargas-Garcia M.C., Suarez-Estrella F., Moreno J., 2008. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes. *Bioresource Technology*, 99:729-730
 26. Pietraszek P., Walczak P., 2014. Charakterystyka i możliwości zastosowania bakterii z rodzaju *Bacillus* wyizolowanych z gleby. *Polish Journal of Agronomy*. 16:37-44
 27. Guinebretiere M.H., Thompson F.L., Sorokin A., Normand P., Dawyndt P., Ehling-Shulz P., Svensson B., Sanchis V., Nguyen-The C., Heyndrickx M., De Vos P., 2008. *Environ. Microbiol.* 10:851-865
 28. Szczęsna-Antczak M., Trzmiel T., 2008. Bakterie rodzaju *Bacillus*. [W:] Libudzisz Z., Kowal K., Żakowska Z., *Mikrobiologia techniczna. Mikroorganizmy w biotechnologii, ochronie środowiska i produkcji żywności*; PWN, Warszawa. s:91-119
 29. Leśniak P., 2004. Glista ludzka – *Ascaris lumbricoides*. Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna, Kraków.
 30. Pawłowski Z., 2003. Inwazje i choroby pasożytnicze. [W:] *Choroby zakaźne i pasożytnicze*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa. s:470-473
 31. Hadaś E., Derda M., 2014. Pasożyty – zagrożenia nadal aktualne. *Probl Hig Epidemiol.* 95(1):6-13
 32. Kadłubowski R., Kurnatowska A., 2001. *Zarys parazytologii lekarskiej*. Wydawnictwo lekarskie PZWL. s:256-286
 33. Zaremba M.J., Borowski J., 1994. *Podstawy mikrobiologii lekarskiej*. Wydawnictwo lekarskie PZWL. Warszawa. s:474-485
 34. Dzbeński T.H., 2007. Toksokaroza ośrodkowego układu nerwowego. *Polski Przegląd Neurologiczny*. 3(1):29-32
 35. Kondera-Anasz Z., Kubala A., Mielczarek-Palacz A., 2005. Toksokaroza – ciągle aktualny problem kliniczny i diagnostyczny. *Wiadomości lekarskie LVIII, Kosmetologia*. 3(4):218-221
 36. Wojdowska M., 2012. <http://gis.gov.pl/dep/?lang=pl&dep=13&id=71>, dostęp z dn. 16.02.15
 37. Kareem Hatam-Nahavandi, Amir Hossein Mahvi, Mehdi Mohebali, Hossein Keshavarz, Iraj Mobedi, and Mostafa Rezaeian, 2015. Detection of parasitic particles in domestic and urban wastewaters and assessment of removal efficiency of treatment plants in Tehran, Iran *J Environ Health Sci Eng.* 2015; v.13: 4, dostęp z dn. 16.02.15 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4316801/>
 38. Pepper I.L., Brooks J.P., Gerba C.P., 2006. Pathogens in biosoils. *Adv. Agr. Els.* 90:1-41
 39. Cyprowski M., Krajewski J.A., 2003. Czynniki szkodliwe dla zdrowia występujące w oczyszczalniach ścieków komunalnych. *Medycyna pracy*. 54(1):73-80
 40. Prażmo Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Siatkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J., 2003. Exposure to bioaerosol In a municipal sewage treatment plant. *Ann. Agric. Environ. Med.* 10(2):241-248
 41. Bień J., 2002. *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej
 42. Fakhru'l-Razi A., Molla A.H., 2007. Enhancement of bioseparation and dewaterability of domestic wastewater sludge by fungal treated dewatered sludge. *J. Haz. Mat.* 147:350-356
 43. Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A., 2010. Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. 13(2):121-131
 44. Jezierska-Tyś S., Frąc M., 2008. Badanie nad wpływem osadu z oczyszczalni ścieków mleczarskich na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby. *Rozprawy i monografie. Acta Agrophysica*. 3:14-25
-

45. More T.T., Yan S., Tyagi R.D., Surampalli R.Y., 2010. Potential use filamentous fungi for wastewater sludge treatment. *Biores. Technol.* 202:7691-7700
 46. U.S. Environmental Protection Agency., 1999. *Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. EPA/625/R-92/013. Revised edition. U.S. EPA, Washington
 47. Metcalf & Eddy. 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. IV edition
 48. Wolna-Maruwka A., Czekala J., Piotrowska-Cyplik A., 2009. Określenie tempa inaktywacji bakterii chorobotwórczych w osadach ściekowych poddawanych procesowi kompostowania z różnymi dodatkami w bioreaktorze cybernetycznym. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineerin.* 54(1):73-79
 49. Wolna-Maruwka A., 2008. Estimation of Microbiological Sewage Sludge Subject to Composting Process In Controlled Conditions. *Polish J. of Environment Stud.* 18(2):279-288
 50. Malej J., 2000. Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane metody ich unieszkodliwiania i utylizacji. *Środkowo-pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska.* 2:39-69
 51. Ignatowicz K., Garlicka K., Breńko T., 2011. Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji. *Inżynieria Ekologiczna.* 25:231-241
-

